

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
TEXTILNÍ FAKULTA



# **DOKTORSKÁ DIZERTAČNÍ PRÁCE**

**POHYB ÚTKŮ V PŘÍRAZNÉ PROUŽCE**

**LIBEREC 2001**

**Ing. DUONG TU BINH**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

TEXTILNÍ FAKULTA

## POHYB ÚTKŮ V PŘÍRAZNÉ PROUŽCE

DIZERTAČNÍ PRÁCE

Autor: Ing. Duong Tu Binh  
Školitel: Prof. Ing. Stanislav Nosek, DrSc.  
Studijní obor: Textilní technika

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA  
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146115279

Liberec, listopad 2001

KT T

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Univerzitní knihovna  
Voroněžská 1329, Liberec 1  
PSČ 461 17

U 590 T

114 s. [25] s. přel.  
H. 1. tab. 1. qe.



### **Poděkování:**

Především bych si dovolil poděkovat Technické univerzitě v Liberci za umožnění absolvovat doktorský studijní program. Dále děkuji Prof. Ing. Stanislavu Noskovi DrSc, za odborné vedení, odbornou pomoc a cenné rady.

Dále děkuji kolegům Katedry mechanických technologií a zvláště Ing. Ingolfu Brotzovi, Ing. Aleši Cvrkalovi za technickou spolupráci, rady a pomoc při provádění experimentů.

Moje poděkování patří taktéž děkanům Prof. Ing. Jiřímu Militkému CSc, Prof. Ing. Radku Kovářovi CSc, i děkanátu FT za podporu během studijního programu na textilní fakultě TU Liberec.

Bylo by chybou, nepoděkovat také mé rodině za plnou podporu po celou dobu studia.

## Obsah disertační práce

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obsah .....                                                                        | 3  |
| Seznam použitých označení a symbolů.....                                           | 5  |
| I-Úvod.....                                                                        | 8  |
| I-1 Definice předmětu práce . ....                                                 | 8  |
| I-2 Cíle a naplň disertace. ....                                                   | 11 |
| I-3 Shrnutí znalostí o problému .....                                              | 12 |
| I-3-1 Obecné znalosti formování tkaniny .....                                      | 12 |
| - pojmy o formování tkaniny a geometrické parametry tkaniny.....                   | 12 |
| - rozdělení oblasti ve formovací zóně .....                                        | 13 |
| I-3-2 Procesu tvorby tkaniny .....                                                 | 14 |
| - Napětí osnovy .....                                                              | 14 |
| - Proces přírazu .....                                                             | 17 |
| - Čelo tkaniny .....                                                               | 22 |
| - Formovací zóna.....                                                              | 22 |
| I-3-3 Tření.....                                                                   | 25 |
| I-3-3-1 Základní pojmy a zákon o tření.....                                        | 25 |
| I-3-3-2 Vliv rychlosti smýkání na tření .....                                      | 31 |
| I-3-3-3 Metody byly prováděny při měření textilní tření .....                      | 33 |
| II- Problém formovací zóny a pohybu útků.....                                      | 39 |
| II-1 Silové a geometrické poměry ve formovací zóně.....                            | 40 |
| II-2 Vliv tření niti po niti na formování tkaniny .....                            | 43 |
| II-2-1 Hrnutí útků v přírazné proužce v případě $f=f_s \cdot \text{sign } v$ ..... | 44 |
| II-2-2 Dynamický proces hrnutí útků při přírazu.....                               | 51 |
| III- Měření dynamických součinitelů tření.....                                     | 59 |
| III-1 Měření součinitel tření pro změnou rychlost nitě .....                       | 59 |
| III-1-1 Nastavení měřících zařízení a přípravy naměřených materiálů .....          | 59 |
| III-1-1-1 Napájecí zdroj NT101 a aparatura AE101 .....                             | 62 |
| III-1-1-2 Měření se sondami VÚTS .....                                             | 63 |
| III-1-1-3 Dynamický signální analyzátor HP35670A .....                             | 64 |



|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| III-1-1-4 Frekvenční měnič.....                                     | 65  |
| III-1-1-5 Příprava materiálů na měření .....                        | 66  |
| A- K snižování koeficientu tření.....                               | 66  |
| B- K zvýšení koeficientu tření . .....                              | 67  |
| III-1-1-6 Příprava osnovích nití.....                               | 69  |
| III-1-2 Měření a výsledky součinitelů tření .....                   | 69  |
| III-2 Sledování hnutí útků do tkaniny při přírazu.....              | 80  |
| III-2-1 Popis používaných zařízení .....                            | 80  |
| III-2-1-1 Pneumatický tkací stroj PN 170 FB-M2 .....                | 80  |
| III-2-1-2 Rychlostní kamera SpeedCam+500 .....                      | 80  |
| III-2-2 Zjišťování počtu hrajících útků ve FZ teoreticky .....      | 87  |
| III-2-3 Ověření teoretických výpočtů pomocí rychlostní kamery ..... | 96  |
| III-2-4 Ověření vztahu skluzu útků v závislosti na čase.....        | 104 |
| IV- Závěr a shrnutí výsledků.....                                   | 106 |
| Summary .....                                                       | 108 |
| Seznam literatury .....                                             | 110 |
| Přílohy.. .....                                                     | 115 |

## Seznam použitých označení a symbolů

|                  |                                                    |                      |
|------------------|----------------------------------------------------|----------------------|
| $A$              | rozestup útkových nití                             | [mm]                 |
| $\bar{A}$        | rozestup útkových nití v okamžitém pohybu          | [mm]                 |
| $A_u$            | ukládací rozestup útku                             | [mm]                 |
| $A_{lim}$        | limitní hodnota vtlačení útku do tkaniny           | [mm]                 |
| $a$              | délka přímkového provázání přize v Peireově modelu |                      |
| $B$              | rozestup osnovních nití                            | [mm]                 |
| $Ba$             | bavlněná přize                                     |                      |
| $C_1, C_2$       | konstanty pružnost osnovy a tkaniny                | [N.m <sup>-1</sup> ] |
| $\check{C}T$     | čelo tkaniny                                       |                      |
| $d_o, d_u$       | průměr osnovních a útkových nití                   | [mm]                 |
| $d_s$            | substanční průměr                                  | [mm]                 |
| $D_2$            | dostava útku                                       | [cm <sup>-1</sup> ]  |
| $e_1 \equiv e_o$ | relativní zvlnění osnovy                           |                      |
| $e_2 \equiv e_u$ | relativní zvlnění útku                             |                      |
| $E_1, E_2$       | Youngův modul pružnosti osnovy a tkaniny           | [N.m <sup>-2</sup> ] |
| $f$              | koeficient tření                                   |                      |
| $f_s$            | statický koeficient tření                          |                      |
| $f_k$            | kinematický koeficient tření                       |                      |
| $f_{dyn}$        | dynamický koeficient tření                         |                      |
| $F \equiv F_p$   | přírazná síla                                      | [N]                  |
| $F_1, F_2$       | tahové síly v niti naměřené tezometrickou sondou   | [N]                  |
| $FZ$             | formovací zóna                                     |                      |
| $H_1, H_2$       | výška zvlnění osnovy resp. útku                    | [mm]                 |
| $HP$             | firma Hewlett Packard                              |                      |
| $I_\xi$          | impuls přírazné síly                               | [N]                  |
| $i$              | měrný impuls přírazné síly                         |                      |
| $k$              | součinitel měrný                                   |                      |
| $K_\xi$          | konstanta úměrnosti                                |                      |
| $KME$            | Katedra mechanických technologií                   |                      |



|                  |                                                                  |              |
|------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
| $l_1, l_2$       | délky osnovy a tkaniny v pracovní zóně stroje                    | [m]          |
| $l$              | vzdálenost mezi útky v modelu Dobroguského                       | [mm]         |
| $M_b, M_t$       | hmoty bidlenu a tkaniny                                          | [kg]         |
| $N$              | normálová síla                                                   | [N]          |
| $N_0$            | složka síly v směru osy $y$ způsobí ohyb útku                    | [N]          |
| $P$              | síla přes útek protahuje osnovou                                 | [N]          |
| $PZ$             | pružicí zóna tkaniny                                             |              |
| $PES$            | polyesterová nit                                                 |              |
| $p$              | tangenciální síla na jednotkovou délku                           | $[N.m^{-1}]$ |
| $Q$              | základní tahová síla působí těsně před přírazem v rovině tkaniny | [N]          |
| $Q_1, Q_2$       | tahové síly v osnově a tkanině při přírazu                       | [N]          |
| $R$              | tkací odpor                                                      | [N]          |
| $R_g$            | geometrická složka tkacího odporu                                | [N]          |
| $R_f$            | třecí složka tkacího odporu                                      | [N]          |
| $r$              | poloměr                                                          | [mm]         |
| $S$              | síla ve střednici osnovních nití                                 | [N]          |
| $S_k$            | složka síly na $k$ -té niti při přírazu                          | [N]          |
| $T$              | výstupní napětí – tečná síla                                     | [N]          |
| $T_0, T_1$       | síly na osnově před a za útkem                                   | [N]          |
| $T_R, T_{R0}$    | výsledky síly působí na osnovu resp. útek                        | [N]          |
| $T_{Ry}$         | tlak útku působící na osnovní niti                               | [N]          |
| $T_t$            | časová konstanta                                                 |              |
| $T_p, T_c$       | trvání přírazu a tkacího cyklu                                   | [s]          |
| $U$              | napětí útku v rovině tkaniny                                     | [N]          |
| $UP$             | nakládací poloha nového útku                                     |              |
| $V_1, V_2$       | rychlosti bidlenu a tkaniny po rázu                              | $[m.s^{-1}]$ |
| $V_{10}, V_{20}$ | rychlosti bidlenu a tkaniny před rázem                           | $[m.s^{-1}]$ |
| $VÚTS$           | výzkumný ústav textilních strojů v Liberci                       |              |
| $X$              | oblast pružení osnovy                                            |              |
| $Y$              | přírazný puls                                                    | [mm]         |
| $Z$              | celý pohyb paprsku                                               | [mm]         |

|                   |                                                                                |                       |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| $W$               | třecí síla                                                                     | [N]                   |
| $\overline{W}, w$ | náhradní složky síly                                                           | [N]                   |
| $\alpha, \alpha'$ | úhly opásání mezi útkem a osnovou                                              | [rad]                 |
| $\Phi, \psi$      | úhly mezi osnovní resp. útkovou nití a tkací rovinou                           | [rad]                 |
| $\alpha, \beta$   | materiálové konstanty                                                          |                       |
| $\Phi_b$          | úhel otevření prošlupu                                                         | [rad;°]               |
| $\Phi_A$          | úhel provázání osnovy ve tkanině daný nastavenou dostavou                      | [rad;°]               |
| $\Phi_p$          | přírazný úhel je tvořen střednicí osnovy a rovinou tkaniny v přírazném momentu | [rad;°]               |
| $\gamma$          | měrná hmotnost příze                                                           | [g.mm <sup>-3</sup> ] |
| $v_\xi$           | rychlost skluzu útku do tkaniny                                                | [m.s <sup>-1</sup> ]  |
| $\xi$             | skluz útku do tkaniny                                                          | [mm]                  |
| $\omega_p$        | kruhová frekvence přírazného pulsu                                             | [s <sup>-1</sup> ]    |
| $\varphi_k$       | rychlostní koeficient                                                          | [rad.]                |
| $\theta$          | úhel opásání využívané v Peirceově modelu                                      | [rad.]                |
| $\psi_p$          | koeficient využití tkacího cyklu pro příraz                                    |                       |



## I-Úvod.

### I-1 Definice předmětu práce zdůvodnění řešení.

Příraznou proužkou rozumíme oblast na čele tkaniny, ve které při přírazu se pohybují útky do tkaniny a z tkaniny zhledem k svým ustáleným polohám daným útkovou dostavou.

Předmětem této práce je studium pohybu útků v přírazné proužce, průběhu a velikost vznikající sil a vlivu tkací rychlosti na tyto parametry.

Jedna z potřeb, která nemůže chybět v životě lidstva, je textilní výrobek. Od té doby, kdy člověk začal používat tkaniny, aby skryl a ochránil své tělo před přírodním prostředím, se vyvíjí i tkací techniky. Tkalcovská výroba vznikala velmi dávno. Její počátky nelze spolehlivě určit. Vzorky tkanin se objevují už v hrobkách egyptských a indických velmožů. Již několik tisíc let před naším letopočtem lidé zhotovovali jemné drahocenné tkaniny z bavlny a lnu. Z tohoto lze usoudit, že počátky tkalcovské výroby sahají daleko do prehistorie. Původní systém tvoření tkaniny, t.j. provazování dvou soustav přízí dnes zvaných osnova a útek, přetrval věky.

Vývojem vědy a techniky vzniká moderní zařízení a technologie, které umožňují vyrobit kvalitní výrobky a mají vysokou produktivitu, odpovídající požadavku uživatelů. V současné době se textilní zařízení a také tkací stroje modernizují, pracují s rychlostí v rozmezí  $400-3200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  zatkaného útku, bereme-li úvahu i víceprošlupní stroj [1]. Nejdůležitější charakteristiky moderního tkacího stroje jsou:

- Vysoký výkon realizovaný vysokým rozměrem zpracování tkaniny.
- Vysoká použitelnosti (tj. vysoká flexibilita používání, univerzální nebo přestavitelné tkací charakteristiky zařízení).
- Komfort strojní obsluhy.

Každé čtyři roky jsou organizovány odborné mezinárodní výstavy a konference, aby se napomohlo vyřešení problémů současného tkaní s cílem zlepšování kvality, produktivity a zabraňování nevýhodných vlivů vznikajících v procesu zpracování výrobku. Výsledky řešení problematiky tvorby tkaniny v procesu tkaní lze využít zejména při cílevědomém:

- a- zvyšování kvality vyráběných tkanin;



- řízením technologického procesu výroby ve vztahu k požadované struktuře tkaniny.
- diagnostikou chyb v současných základních mechanismech strojů
- zabráněním havarijních situací i chyb ve struktuře tkaniny.
- b- ovlivňování konstrukce nových tkacích strojů.
- využíváním nejefektivnějších a nejspolehlivějších existujících základních mechanismů.
- aplikace nových struktur základních mechanismů.
- účelným využíváním elektronických a automatických systémů.

Jeden z problémů, o který se zajímají odborníci, je vyřešení vlivů působení dynamických sil a vlivů ve formování tkaniny na tkacím stroji. Výzkum formování tkaniny je náročná práce, protože během tkacího procesu je se uplatňuje mnoho pracovních úkonů vzájemně provázaných, například otevření prošlupu, zanášení útku, příraz útku, odtah tkaniny. Jednotlivé fáze těchto procesů se vzájemně (zpětnovazebně) ovlivňují. Tato ovlivnění mají dynamický charakter prostřednictvím sil a deformací závislých na rychlostech pohybů. Vlivy na pohyb útků vpřed a vzad v průběhu přírazu jsou také tématem této práce.

Struktura textilie, jako produkt tvorby na textilních strojích a současně jako příčina vlastností textilie, nabývá postupně důležitosti nejen pro textilní technologii, ale též pro konstruktéry textilních strojů.

Tvorba tkaniny na tkacím stroji probíhá hlavně, když některý přírazný prvek (paprsek, kyvný lamel, rotační lamel, nadměrné překřížení prošlupu) vtlačuje do tkaniny právě zanášený útek a tvoří provázání mezi nitmi (osnovami a útkem) ve tkanině.

Od začátku 20.století vědci S. Marschik (Viedeň- Rakousko 1904), N. G. Novikov (1948), C.A. Dynnik (1948), F. Stein (1927), a zejména K. Greenwood (1957) [2] se zabývají základním problémem - tkacím procesem formování tkaniny. Problematiku lze rozdělit na následující skupiny:

- Napětí osnovy (průběh, dynamika, řízení).
- Přírazný proces (síly, transformace čela tkaniny, dynamika).
- Přírazná proužka (rovnováha přírazné síly a tkacího odporu).
- Formování tkaniny v čele tkaniny (počet "hrajících" útků, úhly provázání).



Tyto skupiny mají důležitý význam pro tvoření tkaniny. Zvláštní význam má proces formování tkaniny přímo na čele tkaniny. Tento proces je důsledkem vzájemného působení mezi dvěma hlavními prvky tkaniny, tj. osnovou a útkem. V tzv. formovací zóně působí na nový útek přírazná síla paprsku a útek jí odporuje tkacím odporem, při přírazu se posune poslední útek současně se zatlačí sousední útky směrem do hloubky tkaniny. Na posuvy všech útků se spotřebovává tkací práce, z níž lze odvodit i tkací odpor. Po zániku přírazného tlaku jsou stříhavým účinkem osnovních nití útky ve formovací zóně vytlačovány částečně zpět. Tento proces vytváří jisté rozložení útků ve formovací zóně a má vliv na strukturu tkaniny. Výzkum tohoto problému je jedním z témat při hledání metod zlepšování kvality výrobků tak, aby odpovídaly požadovaným strukturám a standardním charakterům tkanin.

Předložená disertační práce se rovněž zabývá touto problematikou. Vychází z tohoto, že spotřebovaná tkací (přírazná) práce a tím i tkací odpor jsou důsledkem tření a deformace nití v přírazné proužce. Tření i deformační síla však nejsou konstantní, nýbrž závisí na rychlosti vtlačování útku. Vliv rychlosti přírazu na tkací odpor a na rozložení nití v přírazné proužce v důsledku rychlostní závislosti tření jsou hlavním předmětem disertace.

## **I-2 Cíle a naplň disertace**

Disertační práce se zabývá některými z problémů tkacího procesu a formování tkaniny uvedených vpředu

Hlavní naplň mé práce je statika a dynamika pohybu útků v přírazné proužce během tkaní, dále podmínky, ze kterých tento pohyb probíhá, a důsledek pohybu útků v konečné struktuře a vlastnostech tkaniny.

Nejprve ve své práci jsem provedl rozbor statické situace na čele tkaniny, vztahu silových a geometrických poměrů ve formovací zóně. Používáním Peirceova modelu jsem vyjadřoval rozložení úhlů mezi nitmi (osnovami a útky) při a po přírazu, pak jsem ukazoval vliv koeficientu tření na rozložení provázání úhlů.

Představil jsem dynamický model pohybu útků, stlačovaných k sobě paprskem proti odporu překřížených osobních nití a proti odporu dynamického tření na nitech. Z tohoto modelu jsem analyticky řešil pohyb útků při přírazu závislý na čase a přírazné rychlosti.

Dále jsem proměřil a prozkoumal rychlostně závislý koeficient tření pro různé materiály nití po nití. K tomu jsem spolu s některými kolegy vytvořil materiály, mající zvláštní charakterystiky povrchu a uplatnil systém měření tření v laboratoři KME – TU Liberec. Z výsledků měření koeficientů tření jsem prováděl výpočet teoretického pohybu útků a ověření jej pomocí vysokorychlostní kamery.

Na konec jsem vyvodil některé závěry o vlivu rychlosti a času na pohyb útků a tvorbu tkaniny, jakož i na strukturu tkaniny.

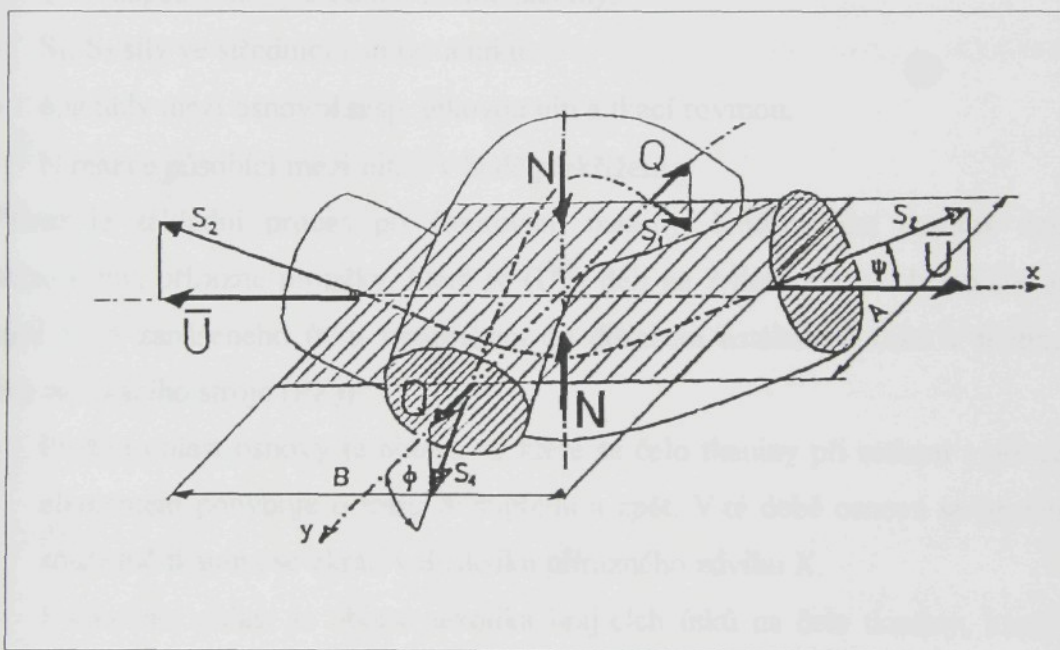


### I-3 Shrnutí znalostí o problému.

#### I-3-1 Obecné znalosti formování tkaniny.

V textilním průmyslu se výroba plošných textilií dělí na dvě hlavní technologie: pletení a tkaní. Technologie tkaní je podstatně starší než pletařská technologie, navíc 2/3 textilních plošných útvarů se ve světě vyrábí jako tkaniny (tkalcovská technologie). Proto technologie tkaní zaujímá důležité místo v životě člověka. Důležité je ovšem dosahování vhodných struktur tkaniny pro další užití

Struktura tkaniny z hlediska geometrického je tvořena dvěma kolmými soustavami přízí - podélných (osnovních) a příčných (útkových) nití - spojených vzájemně provázáním. Základním stavebním kamenem každé tkaniny je „vazná buňka“ (vazný bod, prvek, element), tvořená jedním překřížením osnovní a útkové nitě. Celý proces tkaní je procesem vytváření vazných bodů. Na obrázku ukazuje vaznou buňku tkaniny.



**Obr.I-1** Model zakřížení osnovy(v plátně)

Základní parametry vazného prvku jsou:

- $d_0$  průměr osnovní nitě,  $d_u$  průměr útkové nitě.
- A rozestup po útku (vzdálenost mezi dvěma sousedními útky), B rozestup po osnově.

- Výšky zvlnění osnovy a útku :  $h_0$ - výška zvlnění osnovy měřená od tkací roviny do středního zvlnění osnovy ,  $h_u$ - výška zvlnění útku měřená od tkací roviny do středního zvlněního útku.
- Dostava  $D_o$ ,  $D_u$  je počet nití osnovy nebo útku na 1cm ve tkanině.
- $e_o$ ,  $e_u$  jsou poměrné podíly výšky osnovy a útku z sumy obou výšek vln osnovy i útku  $h_0+h_u$ .
- $d_s$  je střední průměr osnovní a útkové nitě.

Mezi uvedenými parametry platí vztahy:

$$D_o = 1/B \quad ; \quad D_u = 1/A \quad ;$$

$$h_o + h_u = \frac{d_o + d_u}{2} = d_s \quad ; \quad e_o = \frac{h_o}{h_o + h_u} = \frac{h_o}{d_s} \quad ; \quad e_u = 1 - e_o$$

Základní síly působící na osnovu a útek ve vazném bodu ( viz. Obr.I-1):

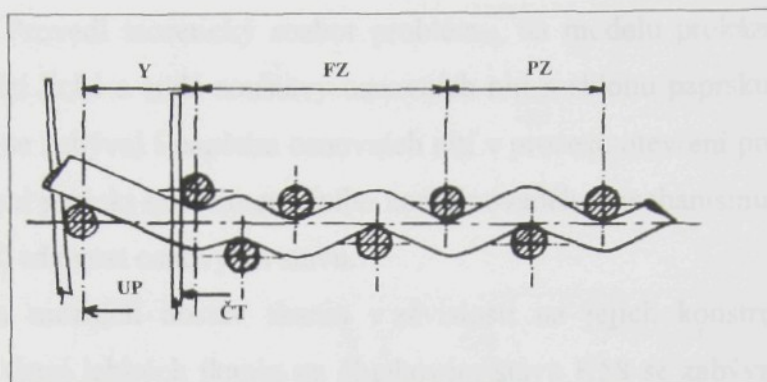
- $Q$ ,  $U$  napětí osnovy a útku v rovině tkaniny.
- $S_1$ ,  $S_2$  síly ve střednici osnovy a útku.
- $\phi, \psi$  úhly mezi osnovní resp. útkovou nití a tkací rovinou.
- $N$  reakce působící mezi nitmi v bodě překřížení.

Příraz je základní proces při formování tkaniny. K formování tkaniny dochází v prostoru tzv. přírazné proužky, která se (UP) dělí na 3 deformační oblasti (od místa setkání nově zanášeného útku s paprskem do dosažení ustáleného útku v tkanině ve směru osy tkacího stroje (PZ)):

- Pružicí oblast osnovy je oblast, ve které se čelo tkaniny při setkání s přírazným elementem pohybuje o míru  $X$  dopředu a zpět. V té době osnova se protáhne a současně tkanina se zkrátí v důsledku přírazného zdvihu  $X$ .
- Formovací oblast je oblast několika hrajících útků na čele tkaniny, které se v důsledku přírazného tlaku pohybují po osnovních nitech do tkaniny a po zániku přírazného tlaku jsou stříhaným účinkem osnovních nití i vzájemným působením útků vytlačovány zpět do prošlupu. Počet útku couvající zaleží na hustotu tkaniny a vlastnost materiálu.
- Svisle „pružicí oblast“ tkaniny je další oblast směrem do hloubky tkaniny, ve které zvlněné osnovní nitě i útky ještě pruží kolmo ke tkací rovině a mění tak



opakovaně při přírazu a mezi přírazy poměr zvlnění obou soustav nití. Nedochozí však už k posuvu útků.



**Obr.I-2** Tři deformační oblasti osnovy a tkaniny v přírazu nebo přírazná proužka.

Zde je označeno:

Y- zdvih paprsku (přírazný puls) při přírazu, oblast pružení osnovy a skluz útku do tkaniny.

FZ- formovací zóna (proměnlivé rozteče útků).

PZ- pružící zóna tkaniny (útky se ve tkanině stlačují k sobě).

UP- ukládací poloha nového útku- fiktivní místo kde začíná příraz.

ČT- čelo tkaniny při vrcholícím přírazu- v podstatě „přírazná linie“ kam až dosahuje paprsek při pohybu do přírazu.

### **I-3-2.Proces tvorby tkaniny.**

V předchozí části byly uvedeny hlavní veličiny formování tkaniny. Podle charakteru výzkumných problémů, lze tyto veličiny rozdělit na čtyři skupiny: napětí osnovní nitě, přírazný proces, přírazná proužka, formování tkaniny na čelo tkaniny.

#### **Napětí osnovy.**

E.V.Vecelovská [3] sledovala problémy vlivu napětí a tření osnovní nitě na její trhavost a také sledovala závislosti mezi napětím osnovy a funkčními parametry stroje. Ukázala, že dynamické napětí osnovy vznikající v momentu přírazu bidlem se změní s změnou příčného řezu nitě. Rozborem sil v elementu tkaniny, Belov [4] popsal vliv napětí osnovy na srážení tkaniny a zkrácení osnovy, vliv dostavy tkaniny po osnově na

proces formování tkaniny. Vrat útku při pohybu paprsku zpátky je vysvětlován působením vodorovné sílové složky osnovy, která tlačí na útek.

C.A.Dynnik [5] zveřejňuje svou práci, zaměřenou na vytváření prvku tkaniny na tkacím stroji. Provedl teoretický rozbor problému, na modelu prokázal význam úhlu prošlupu, napětí liché a sudé soustavy osnovních nití a sklonu paprsku v přední krajní poloze. Autor se zabýval i napětím osnovních nití v procesu otevření prošlupu a přírazu útku, pak popsal projekt experimentálního kombinovaného mechanismu, jenž měl snížit (kompenzovat) trhavost osnovy na stavu.

Stanovením mezních dostav tkanin v závislosti na jejich konstrukci a silových poměrech při tkaní lehkých tkanin na člunkovém stavu K58 se zabýval Do Van Vinh [6]. Východiskem řešení bylo hodnocení grafického záznamu napětí osnovní nitě, získaného tenzometrickým měřením. Potvrdil hypotézu, že s rostoucím předpětím osnovních nití roste přírazná síla a zmenšuje se velikost přírazné proužky.

Ve své kandidátské práci [7] řešil Horn modelovou analýzu a syntézu dynamiky tkacího procesu. Dynamické napětí osnovních nití při tkaní sledoval analyticky, graficky a měřením.

V disertační práci G. I. Medvědeva [8] studoval podstatné problémy procesu formování tkaniny, příčiny vzniku přírazné proužky, a současně průběhy napětí osnovních a útkových nití v procesu tkaní. Zabýval se pohyby útků po osnovních nitích, které byly způsobeny účinkem tlaku paprsku, až do dosažení žádané polohy sousedních útků. Autor napsal, že přírazná proužka závisí na velikosti základního napětí osnovní nitě v cyklu formování tkaniny. Je-li napětí osnovy dostatečné, přírazná proužka stabilizuje. Nerovnoměrné napětí osnovy po pracovní šířce stavu je způsobeno třením tkaniny a rozpínky. Podle jeho názoru, když vykoumal napětí horních a dolních nití prošlupu, vyšel důležité posouzení : *v případě tkanina má střední dostavu, napětí nití je stejné u obě části prošlupu horního a dolního*. Tlak osnovy na útky je skoro stejný.

K.G.Aleksejev [9] se zabýval napětím osnovních nití při přírazném procesu. Analyzoval rozložení síly při přírazu mezi osnovou, útkem a paprskem. Uvažoval, že při přírazu napětí osnovy je velké, a proto osnovní nit se napřimuje a útková nit se maximálně ohýbá (viz. obr.III-I-3)

P - síla přes útek protahuje osnovu ( přírazná síla).



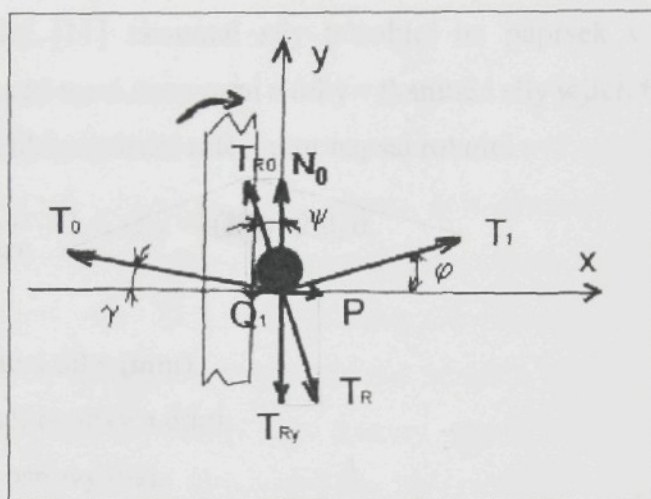
$T_{Ry}$  - tlak útku působící na osnovní niti.

$T_R, T_{R0}$  - výslednice síly působí na osnovu resp. na útek.

$T_0, T_1$  - síly na osnově před a za útkem. Ty síly jsou zjišťovány strukturou tkaniny a upravenými parametry na stavu.

$Q_1$  - tlaková síla osnovy na útek a paprsek při přírazu je složka výsledné síly  $T_{R0}$  v směru osy x.

$N_0$  - složka síly  $T_{R0}$  v směru osy y způsobí ohyb útku.



**Obr.I-3** Schéma vzájemného působení síly elementu tkaniny při přírazu podle Alesejeva.

Napětí osnovy v pracovním cyklu není ustálené, vzhledem k vlivu tlaku paprsku působícího na osnovy a útky. V momentu zástupu jejich napětí je minimální. Při otevřeném prošlupu se zvyšuje základní napětí osnovy, a dosahuje maximální hodnoty v přední poloze paprsku v okamžiku přírazu. Narůst napětí osnovních nití se vysvětluje odpory, které byly způsobeny nárůstem třecí síly v skluzu útků po osnovních nitech a nárůstem tlaku paprskem na osnovy. Kromě působení ukázaných sil na nitě v pracovním cyklu tkacího stroje, je nutno počítat i s působením zbožového regulátoru, který musí být nastaven do oblasti napětí, při němž se při přírazu neuvolňuje tah  $T_1$ .

Základní podmínky tkacího procesu jsou řešeny v práci [10] autorem S. Noskem. Těmito podmínkami jsou napětí osnovy a útku, napjatost předlátky, zejména na čele tkaniny a v rozpínkách, správný přívod osnovy a útku do přírazného místa. Zkoumal

statické i dynamické chování osnovních regulátorů v základních provedení. Jsou analyzovány otázky stability regulačního procesu. Matematicky analyzoval rozložení napjatosti a přetvoření předlátky při rozdílném roztažení tkaniny v paprsku a na svůrce nebo mezi rozpínkami. Autor se zabýval změnami tahu útku při prohozu a způsoby jejich vyrovnávání, resp. odstranění. Zde jsou sledovány průběhy odtahu útku u jednoproslupných i víceproslupných strojů a jejich dopady na napětí útku a na šíření napěťových vln odtahových dějích.

### Proces přírazu a přírazná proužka.

C.O.Dobrogurský [11] zkoumal síly působící na paprsek v momentu přírazu a zjišťoval úhel opásání mezi osnovami a útky v tkanině i síly jejich tření.

V části zjištění úhlu opásání nitě, autor napsal rovnici :

$$\frac{l}{\cos \alpha} - 2.d_s \operatorname{tg} \alpha = l(1+p) - 2.d_s \alpha. \quad (I-1)$$

kde:

$l$ - vzdálenost mezi útky (mm).

$d_s$ - střední průměr osnovy a útku.

$p$ - protahování osnovy (%).

$\alpha$ - úhel opásání osnovy a útku.

V části zjištění síly tření osnovních nití s přiřazeným útkem, stanovil souvislost mezi koeficientem tření nitě a úhly zakřížení osnovy. Kromě toho sestavil rovnici, která obrazuje vztahy mezi napětím osnovy probíhající před a za útkem v okamžiku pohybu útku na čele tkaniny.

Autor N. K. Ovšin [12] uvažoval, že proces tvorby přírazné proužky nemá vliv na jevy vratu krajního útku při pohybu paprsku zpět. Počítal, že jestli napětí osnovní nitě v okamžiku přírazu stačí, aby uložený útek jen klouzal po osnovních nitech ,ale nestrhnul je se sebou, potom útek se posune od daného místa uložení do vzdálenosti  $l_0$ , která odpovídá geometrické dostavě útku ve tkanině. V momentu zanášení dalšího útku ve proslupu zboží regulátor odtáhne tkaninu o hodnotu  $l_0$  a proto tkací proces bude probíhat bez přírazné proužky. Autor Ovšin předpokládá, že jestli napětí osnovní nitě v momentu přírazu nestačí, pak jev probíhá odlišně-nový se zanechá útek vzdálenosti  $l_1$  jež je vyšší než  $l_0$ - přírazná proužka se zvyšuje. V tomto případě dochází k narůstání přírazné



proužky, která se bude zvyšovat dokud napětí osnovní nitě dostatečně nestoupne a nenabude potřebné hodnoty. Ovšín neukázal kdy a z kterého důvodu vzniká nedostatečné napětí osnovy.

Autoři K. Greenwood, G. Vaughan, W. Cowhing [13],[14],[15] sledovali polohu čela tkaniny a její vliv na dostavu útku ve standardních a stabilních podmínkách tkaní. Vyvodili relaci mezi veličinami napětí osnovy a napětí tkaniny v momentu přírazu a vzdálenosti (zdvihem) pohybu paprsku v přírazné rovině. Ta relace má tvar:

$$dQ_1 = E_1 \cdot Y / l_1 ; dQ_2 = -E_2 \cdot Y / l_2 \quad (I-2)$$

kde :  $Q_1, Q_2$  napětí osnovy, resp. tkaniny.

$E_1, E_2$  Youngův modul pružnosti osnovy a tkaniny.

$l_1, l_2$  odpovídající délky osnovy a tkaniny v pracovní zóně stroje.

Kromě toho autoři zkoumali jev posuvu čela tkaniny v souvislosti s funkcí mechanismů, osnovního regulátoru a zbožového regulátoru, a též vliv přírazné proužky na dostavu tkaniny při normálních podmínkách práce. Experimentálními výsledky autoři dostali vlivy rychlosti stroje na velikost přírazné proužky, vliv relaxace osnovní nitě při různém čase stání stroje na polohu čela tkaniny. Autoři v svých pracích prozkoumali jeden ze základních problémů formování tkaniny- problém přírazné proužky a jejího vlivu na dostavu tkaniny. Nedostatkem práce je, že , nenalezli reálné příčiny tvoření přírazné proužky a proto nedali jasný obraz její souvislosti se základními parametry procesu formování tkaniny.

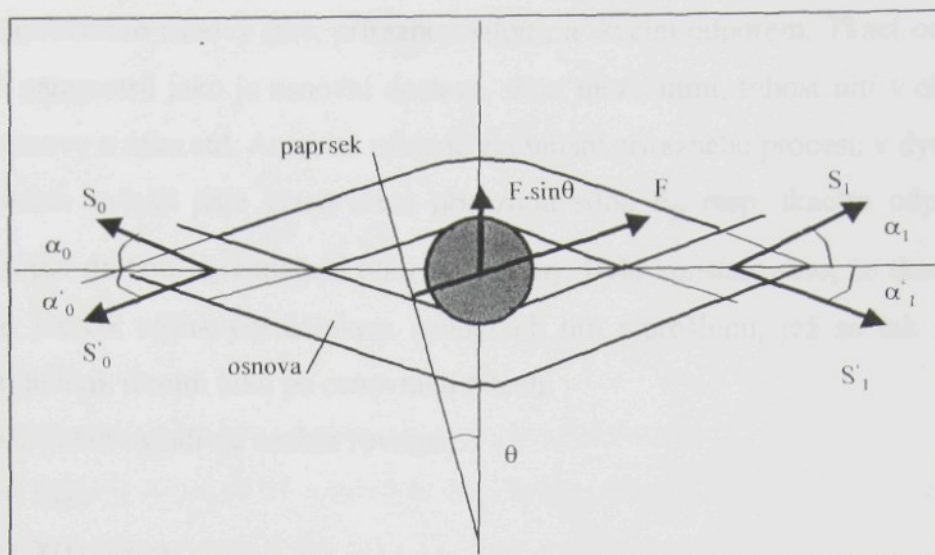
Statické poměry přírazu útku do čela tkaniny řešil K.G. Aleksejev [9], [16]. Při řešení vycházel z elementu tkaniny, který tvoří útek, horní a dolní osnovní niť. Řešení je prováděno za předpokladu nehmotného útku i osnovních nití, dále se předpokládá, že útek i osnovní nitě jsou neprůtažné a nekladou odpor proti pohybu, jsou dokonale ohebné, mají stály kruhový průřez a v rovině tkaniny jsou navzájem kolmé. Podle obr.4 je sestavena rovnice statické přírazné síly  $F$ :

$$F = \frac{1}{\cos \theta - f \cdot \sin \theta} \left[ S_0 \left( \cos \alpha_0 - \frac{1}{e^{f\alpha}} \cos \alpha_1 \right) + S'_0 \left( \cos \alpha'_0 - \frac{1}{e^{f\alpha'}} \cos \alpha'_1 \right) \right] \quad (I-3)$$

kde značí :  $\alpha, \alpha'$  - úhly opásání ( $\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 ; \alpha' = \alpha'_0 + \alpha'_1$ ).

$f$  - součinitel smykového tření mezi útkem a osnovními nitěmi.

Rovnice platí za předpokladu :  $\cos \theta \neq f \cdot \sin \theta$



**Obr.I-4.** Statické poměry přírazné síly na čele tkaniny

Je-li malý šikmý úhel sklonu mezi příraznou rovinou a tkací rovinou (skutečný úhel sklonu  $\theta$  bývá 5-10 stupňů), v rovnici (I-3) bude veličina  $(\cos\theta - f.\sin\theta) \cong 1$ . Lze pak předpokládat, že  $S, S'$  síly v horní a dolní osnovní nití jsou stejné. Dostaneme rovnici:

$$F = 2.S_0.\left(\cos\alpha_0 - \frac{1}{e^{f.\alpha}}.\cos\alpha_1\right) \quad (I-4)$$

Tato relace obrazuje souvislost přírazné síly s napětím na osnově před a za přiřazeným útkem. Pravá strana rovnice (I-4) se považuje za odpor přírazného procesu. Řešení odporu tkacího procesu je prováděno S.Noskem [17][18]. Tkací odpor se překonává příraznou silou  $F_p$ , tj.vzájemným působením mezi paprskem a čelem tkaniny. Tato síla vzniká vlastně protahováním soustavy osnovy a tkaniny, jejichž rozhraní - čelo tkaniny - se opírá o přírazný element. Autor ukázal relaci mezi příraznou silou s tkacím odporem na základě deformace osnovy a tkaniny při přírazu. Rozdíl tahových sil v osnově a tkanině dává příraznou sílu:

$$F_p = Q_1 - Q_2 = (Q + C_1.X) - (Q - C_2.X) = (C_1 + C_2).X. \quad (I-5)$$

kde:  $Q$  je základní tahová síla, která působí těsně před přírazem v osnově a tkanině.

$Q_1, Q_2$  jsou odpovídající tahové síly v osnově a tkanině při přírazu.

$C_1, C_2$  jsou konstanty pružnosti osnovy a tkaniny.

$X$  je pružný zdvih čela tkaniny.

Ze statického řešení (je zatím řešení zjednodušeně při ustálených vnějších a vnitřních silách) S.Nosek zjistil vztah mezi dosahovanou dostavou po útku a vznikající příraznou



sílu, napružením osnovy (tzv. příraznou silou), a tkacím odporem. Tkací odpor závisí na řadě parametrů jako je osnovní dostava, tření mezi nitmi, tuhost nití v ohybu, ale i napětí osnovy a útku atd. Autor na základě zkoumání přírazného procesu v dynamických podmínkách vyřešil dále vztah mezi příraznou silou  $F_p$  resp. tkacím odporem  $R$  a odpovídající drahou  $|\xi|$  zatlačení útku do tkaniny. Bylo konstatováno, že tkací odpor je působen jednak stříhacím účinkem osnovních nití v prošlupu, jež se tak snaží útek vytlačit, jednak třením útku po osnovních nitech.

Tento vztah vyjadřuje soubor rovnic:

$$F(t) = R(t)$$

$$Y(t) = X(t) + \xi(t)$$

$$Y(t) = |Y| \cdot \sin \omega_p \cdot t; \omega_p = \frac{\pi}{T_p} = \frac{\pi}{\psi_p \cdot T_c} = \frac{\pi \cdot n}{60 \cdot \Psi_p}$$

$$R(t) = R_g + R_f = \alpha \cdot \xi(t) + \beta \cdot f(t)$$

$$F(t) = C \cdot X(t) \quad (I-6)$$

V souboru rovnice (I-6) u všech veličin se předpokládá závislost na čase, tj. tyto veličiny se mění v závislosti na časovém průběhu přírazu.

Autor ukázal vliv reologických vlastností osnovy a tkaniny i vliv dynamických vlastností třecího odporu na setkatelnost. Jeden z důležitých výsledků zkoumaný v dynamice přírazu byl vliv intenzity přírazu na setkatelnost. Intenzita přírazu- statická a dynamická- má celkově rozměr hybnosti (m.v). Musí být v rovnováze se spotřebovaným impulsem  $I = \int R(t)dt \equiv \int F_p(t)dt$ , který za dobu  $T_\xi$  trvání přírazu tkanina musí absorbovat, aby bylo dosaženo požadované dostavy  $D_2 = 1/(A_u - |\xi|)$ . Tato relace je vyjádřena rovnicí pro relativní spotřebovaný silový impuls nutný ke vtlačení útku o míru  $|\xi|$

$$i = \frac{I}{|\xi|} = (C + \alpha) T_t \cdot \left\{ \left( 1 + \frac{D}{|\xi|} \right) \cdot \frac{\left[ (1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2) + \omega_p \cdot T_t \cdot \sqrt{1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2} \right] - C / (C + \alpha) \cdot \left( \sqrt{1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2} + \omega_p \cdot T_t \right)}{\omega_p \cdot T_t \cdot \sqrt{1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2}} + \right. \\ \left. + \frac{\beta \cdot f_0}{|\xi|} \cdot \frac{C}{C + \alpha} \cdot \left[ \left( \frac{\pi}{2} + \psi_1 \right) \cdot (1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2) - \omega_p^3 \cdot T_t^3 \right] \right. \\ \left. + \frac{\beta \cdot f_0}{|\xi|} \cdot \frac{C}{C + \alpha} \cdot \frac{\left( \frac{\pi}{2} + \psi_1 \right) \cdot (1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2) - \omega_p^3 \cdot T_t^3}{\omega_p \cdot T_t \cdot (1 + \omega_p^2 \cdot T_t^2)} \right\} \quad (I-7)$$

kde  $\psi_1$  je fázové zpoždění posunu za přírazným pulsem

$$\psi_1 = \arctg \frac{\left( \alpha + C + \frac{\beta \cdot f_0}{|\xi|} \right) \cdot \omega_p T_t - \frac{\beta \cdot f_0}{|\xi|} \sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}}{\left( \alpha + C + \frac{\beta \cdot f_0}{|\xi|} \right) + \frac{\beta \cdot f_0}{|\xi|} \cdot \omega_p \cdot T_t \cdot \sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}};$$

$$D = \frac{\beta \cdot f_0}{C + \alpha}; \quad T_t = \left( \frac{\beta \cdot \varphi_k}{\alpha + C} \right) - \text{časová konstanta vtlačování z toho plynoucí}$$

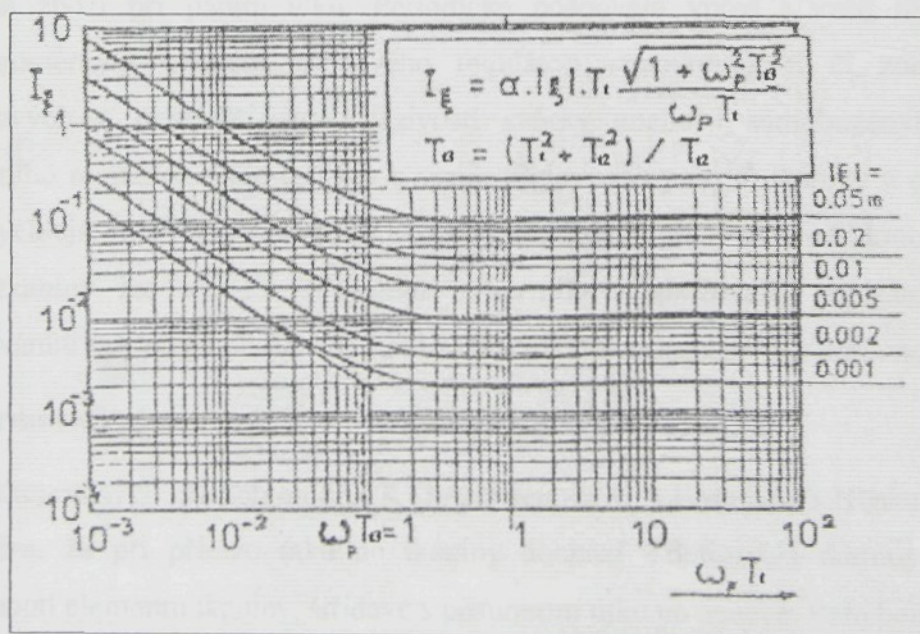
zde je označen poměr vlivu tření ku vlivu pružné deformace

V závěru [18] autor došel k závěru, že impuls přírazné síly je u výkonných stavů závislý jen na dosahované dráze útku  $|\xi|$  resp. na odpovídající dostavě  $D_2$ , pro dnešní výkonné stavy s otáčkami okolo  $400 \text{ min}^{-1}$  a vyššími je měrný impuls přírazné síly

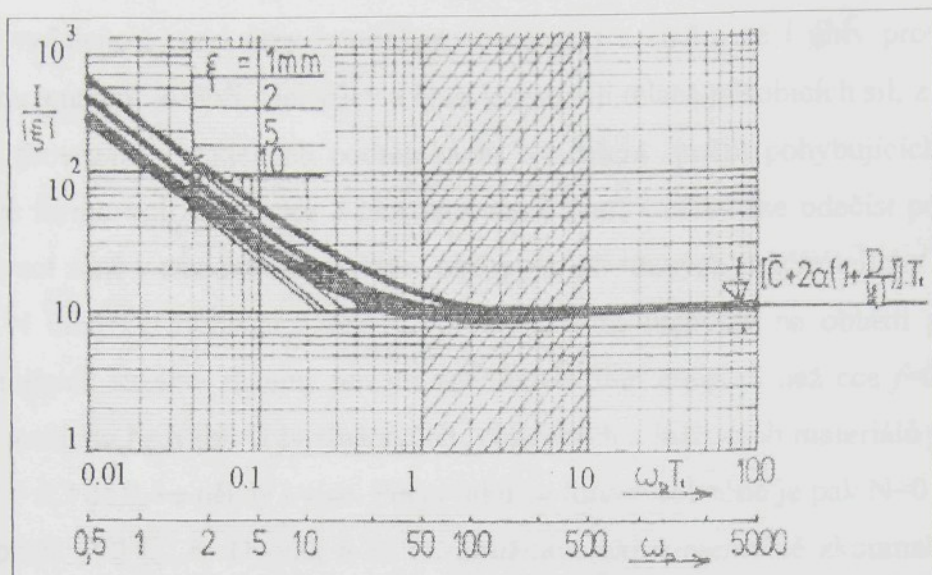
$$i = \frac{1}{|\xi|} \int_0^{T_z} F_p dt \text{ určující veličinou neboli estimátorem dostavy po útku. Autor předložil svůj}$$

názor: jakým způsobem lze zvýšit impuls přírazné síly. Ukázal 3 způsoby:

- Opakováním přírazu
- Změnou časového průběhu přírazného impulsu na obdélníkový nebo trojúhelníkový tvar s delším trváním.
- Zvyšováním sil i trvání přírazného procesu změnou konstrukce tuhého bidla (zvýšením tuhosti).







**Obr.I-5** Závislost měrného impulsu přírazné síly na přírazné frekvenci  $\omega_p$ .

### Čelo tkaniny

K.G. Aleksejev vysvětloval posuv čela tkaniny v přírazném procesu a vyvodil příčiny způsobující pohyb čela tkaniny. Jsou 3 faktory:

- Rozdíl pružnosti mezi osnovou a tkaninou.
- Výsledné otevření prošlupu připraveného k dalšímu přírazu.
- Deformace osnovy způsobená tlakem paprsku.

O tom problému také zabýval a vyřešil S. Nosek. Zkoumal důsledek nepřesného vracení zboží při páření útku. Periodické posouvání vpřed i vzad může být též nerovnoměrným chodem zbožíového regulátoru, neokrouhlostí či zdeformováním odtahových a drsných válců, házivostí svůrky anebo i samobuzeným kmitáním osnovního regulátoru. Jde tu vždy o vznik přídavných pohybů tkaniny a osnovy, které jsou rychlejší než regulační rychlost osnovního regulátoru. Proti nežádoucím posuvům čela tkaniny lze vyřešit spřažením osnovního a zbožíového regulátoru a jejich posouváním tak, aby čelo tkaniny před začátkem tkaní zaujalo vždy správnou polohu.

### Formovací zóna

V zkoumaných pracích autorů, K.G.Aleksejeva, C.A.Dynnika, S.Noska, se objevuje hypotéza, že při přírazu útku do tkaniny dochází k deformaci tkaniny i bidlenu i k posunutí elementu tkaniny, střídavě s posunutím útku po osnově. Pohybem útků (nejen nově nanášeného útku, ale i několika předchozích útků ve tkanině) se ve formovací zóně

změní vzdálenost mezi útky (změní se rozestupy) a změní se i úhly provázání mezi osnovou a útkem. Autoři Aleksejev a Nosek sestavili relace působících sil, z nich plynou i úhly provázání v statických podmínkách. Na řešení počtu pohybujících (hrajících) útků ve formovací zóně autor S.Nosek sestavil graf, v němž lze odečíst počet útků ve formovací zóně v závislosti na zvlnění osnovy  $e_1$  při různých součinitelích  $f$ . Ukázal, že počet  $N$  útků ve formovací zóně větší než  $N=1$  se objevuje na oblasti prakticky se vyskytujících struktur tkaniny jen při součiniteli tření menším než cca  $f=0,2$ , tj. jen u velmi lesklého hedvábí. U bavlnářských, vlnářských a lnářských materiálů je součinitel tření  $f = 0,3$  až  $0,4$  a někdy i více. Počet útků ve formovací zóně je pak  $N=0$  až  $1$ .

V práci [20] C. A. Dynnik a R. D. Družinina experimentálně zkoumali formování tkaniny v momentu zástupu a v momentu přírazu pomocí systému mikro-sledování řezů kolmo k útkům. Zjistili, že počet útků, pohybujících ve formovací zóně, je pro hedvábí 4 až 5.

Křivohlávek Václav ve své disertační práci [21] předpokládal, že tvorba tkaniny z hlediska dynamického je důsledkem rázu masivního, ale poddajného bidlenu. Proces rázu probíhá v momentu, když se paprsek dotkne nového útku a zatlačí jej do tkaniny. Uvažoval přírazný proces jako ráz dvou hmotných bodů (bidlenu, tkaniny) s hmotami  $M_b$ ,  $M_t$ . Vyšel z věty o zachování hybnosti, a sestavil relaci obou těles v momentu před a po rázu:

$$M_b \cdot V_1 + M_t \cdot V_2 - (M_b \cdot V_{10} - M_t \cdot V_{20}) = 0$$

zde  $V_1, V_2$  rychlost bidlenu a tkaniny po rázu.

$V_{10}, V_{20}$  rychlost bidlenu a tkaniny před rázem.

Autor však nemohl určit rychlosti  $V_1, V_2$  těles po rázu. Jiná situace by nastala, kdyby znal závislost rázové síly na čase a tím i hodnotu impulsu rázové síly. Newtonova hypotéza o impulsu síly  $I_2 = k \cdot I_1$  jakožto úbytku hybnosti nabízí další řešení k zjištění tzv. restitučního součinitele  $k$  autor Křivohlávek použil relace:



$$M_b \cdot (V_s - V_{10}) = - \int_{t_0}^{t_1} F_{12} \cdot dt = -I_1$$

$$M_b \cdot (V_1 - V_s) = - \int_{t_1}^{t_2} F_{12} \cdot dt = -I_2$$

$$M_t \cdot (V_s - V_{20}) = - \int_{t_0}^{t_1} F_{21} \cdot dt = I_1$$

$$M_t \cdot (V_2 - V_s) = - \int_{t_1}^{t_2} F_{21} \cdot dt = I_2$$

zde:  $t_0$ - moment setkání těles;  $t_1$ - okamžik maximální deformace těles;  $t_2$ - moment konce rázu ;  $F_{12}$ ,  $F_{21}$  síly působí vzájemně mezi oběma tělesy (bidlenem 1 a tkaninou 2).

Z této relace se vyvodil součinitel  $k = \frac{V_1 - V_2}{V_{10} - V_{20}}$ . Koeficient restituce  $k$  je tedy roven

záporně vzatému poměru relativních rychlostí těles na konci a na začátku rázu. Pro každé rázové těleso koeficient  $k$  má určitou hodnotu podle charakteristiky materiálu:

$k = 1$  pro dokonale pružný ráz.

$k = 0$  pro plastický ráz.

$0 < k < 1$  pro nedokonale pružný resp. plastický ráz.

Řešení v konkrétních případech nebylo provedeno, řešení v tomto směru je obtížné.

Dvořák Josef ve své práci [22] představil model přírazného procesu a uvažoval, že dynamický proces přírazu je rázový účinek dvou těles (paprsku včetně útku a osnovní nitě + tkaniny). Odvodil pohybové rovnice stanovené rovnováhou sil a vypočetl je numericky v necelém časovém intervalu přírazu -cca  $10^{-5}$ s (trvání přírazného pulsu je cca  $5 \cdot 10^{-3}$ s). Výsledky výpočtů znázorňují kinematické veličiny – zrychlení, rychlost a polohu, všech útků v závislosti na čase. V závěru práce konstatoval, že význam rázového účinku na formování tkaniny je pravděpodobně velmi malý, zanedbání hmot textilních materiálu při popisu přírazného procesu pohybovými rovnicemi je korektní.

### I-3-3 Tření.

#### I-3-3-1 Základní pojmy a zákony o tření.

Když se některé těleso pohybuje po druhém tělese, vzniká síla působící proti pohybu. Tato síla se nazývá tření. Prvé dva zákony tření byly objeveny Leonardem da Vinci. Zákony vystihují tyto základní poznatky:

- Síla tření  $R_f$  je poměr s normálovým zatížením  $P$ .

$$f = \frac{R_f}{P} \quad (f \text{ je koeficient tření})$$

- Jev tření je skutečně nezávislý na geometrické zóně, v které dochází ke kontaktu obou těles.

V roku 1693 tyto zákony znovu objevil francouzský vědec Amontons [23], potom skoro po sto letech (1788) Coulomb [24] tyto zákony přezkoumal. Ukázal, že síla, kterou požaduje počátek pohybu (statické tření), je obecně větší než síla potřebná na udržování pohybu (kinematické tření). Coulomb uvažoval, že tření vzniká z důvodu lpění mezi povrchy, ale potom jej zanedbal a dostal jednoduchý výsledek: tření je jev nezávislý na zóně kontaktu smýkajícího se tělesa. Předpokládal, že tření pochází z drsnosti povrchu kontaktu.

Vědci v 19.století potvrdili Coulombovy experimentální výsledky a schválili teorii o vlivu drsností. Vince (1785) [25] uvažoval, že na tření má vliv přilnavost nebo vzájemná koheze mezi povrchy. Pro nehybné povrchy byl pozorován výlučný vliv přilnavosti, pro interval smýkaní povrchů jedním vliv faktor drsnosti. Tím byl vysvětlován fakt rozdílu kinematického a statického tření  $f_k < f_s$ . Vince uvažoval, že tření jen je přibližně nezávislé na rozměru kontaktních těles. Obecně, malý rozměr kontaktního bodu má však větší tření než velký rozměr (při stejném zatížení). Jestliže je dán stejný rozměr kontaktu, tření nestoupá stejně rychle jako stoupá zatížení. Během první poloviny 20.století se všeobecné teorie tření vzájemně podporovaly a vyvíjely, avšak jejich výsledky mají stále v podstatě dva základní obsahy:

- Coulombovu hypotézu nebo teorii o drsnosti povrchu,
- teorii o vzájemném působení povrchů.

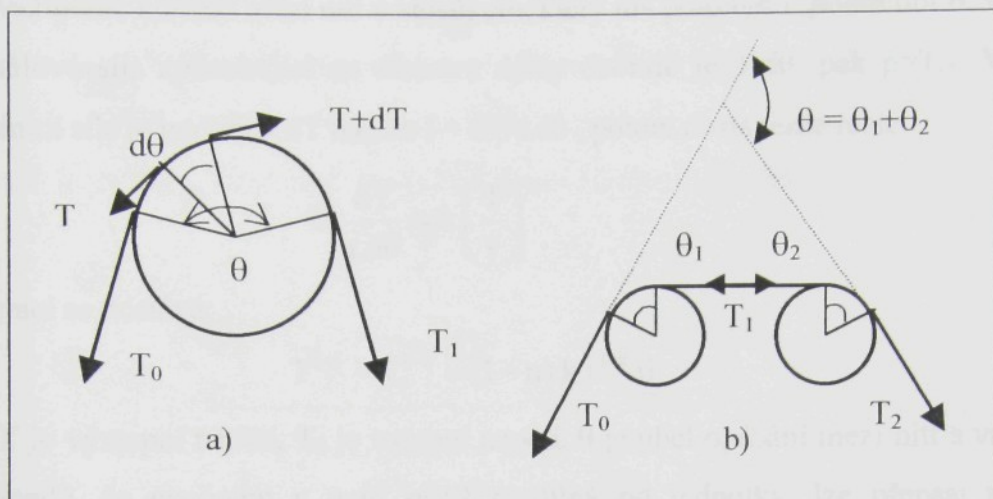


Coulomb vyvodil hypotézu, že energie tření konsumovaná při klouzání reprezentuje spotřebovanou práci k zdvihu nerovnosti jednoho povrchu po vlně drsností druhého povrchu. Další uspořádání, v kterém tření může být značně závislé na profilu povrchu, je v posuvu uměle vytvořených povrchů výrobků (makronerovností) po sobě navzájem. Tření může záviset například na relativním pohybu vlákných útvarů (nití) ve tkacím procesu. V tomto případě nerovnost a drsnost povrchu má velmi důležitou roli, neboť zde dva drsné vlnité povrchy jsou stlačeny na sebe a vzniká odpor proti jejich klouzání. Výzkumné práce o tření pro plastické a textilní materiály byly provedeny Bikermanem (1944), Shooterem (1951), Shooterem a Taborem (1952). Bowers, Clinton a Zisman (1954) zkoumali tření plastického materiálu s mazáním. Podobné výzkumy s nevelkými diferencemi byly zveřejněny v roce 1951-1953 Howellem a 1952 Lincolnem [26]. Autoři vyjádřili relaci mezi tangenciální silou (třecí silou) a normálovou silou v exponenciálním tvaru :  $R = k \cdot P^n$  ;  $n < 1$  je experimentální koeficient závisící na materiálu například :  $n = 0,8$  pro nylon;  $0,96$  pro acetát celulózy.

Druhý aspekt teorie tření- přilnavost povrchu- byl zkoumán Holmem (1946), Ernestem a Merchantem (1940), a speciálně Bowdenem i jeho kolegy (Bowden a Tabor, 1954) [27]. Teorie přilnavosti byla vyvinuta pro kovové materiály a předpokládala, že lpění mezi tuhými tělesy vzniká jako makroskopický jev, podobný „ studenému svaření“ povrchu. Mechanismus vzniku tření prokázal velmi bohatou možnost vysvětlení většiny pozorovaných jevů tření, včetně při tkaní. Byl též rozšířen i k popisu tření v nekovových materiálech.

V podrobných výzkumech o mechanismu tření mezi přírodními vlákny resp. nitmi se objevily mnohé komplikace týkající se kompozice a strukturální homogenosti vláken. Velká množství experimentálních měření byla prováděna na přírodních vláknech. Vývod z toho byl, že chování přírodního vlákna je podobné (stejně) jako syntetického vlákna. Avšak značený rozdíl byl pozorován Thomsonem- Speakmenem (1946); Makinsonem (1948) [28], [29] u živočišných vláken, která mají šupinovitou strukturu, zde tření je trvale větší ve směru posouvání proti šupinám než při posuvu ve směru sklonu šupin.

Jeden z významných výsledků je tření textilní nitě opásané na válcové ploše.



**Obr.6.** Schéma opásání nití na válcové ploše.

Z obrázku a) dostaneme rovnováhu pro každý element  $dT = f \cdot T \cdot d\theta$ , odkud plyne integrací známý Eulerův zákon

$$T = T_0 \cdot e^{f\theta} \quad (I-10)$$

kde  $\theta$  je úhel opásání mezi nití kolem válce;  $dT$  je diferenciál tangenciální síly;  $T \cdot d\theta$  je normálová síla. Tato rovnice se ukazuje, že silový poměr nezávisí na průměru válečku i počtu válečků, na kterém je nit opásána. Silový poměr závisí jen na úhlu opásání (jestliže koeficient tření  $f$  je konstanta).

V případě b) dostáváme relaci:

$$T_1 = T_0 \cdot e^{f \cdot \theta_1} \quad T_2 = T_1 \cdot e^{f \cdot \theta_2}$$

$$T_2 = T_0 \cdot e^{f(\theta_1 + \theta_2)} = T_0 \cdot e^{f \cdot \theta} \quad (I-11)$$

Někteří badatelé uvažují, že rovnice (I-10) ve skutečnosti byla odvozena nepřesně, neboť koeficient tření není konstanta. Olofsson (1950) [30] nahradil relaci  $R_f = f \cdot P$  na relaci  $R_f = f_0 \cdot P + \beta \cdot S$ ; pak dostal vztah mezi  $T$  a  $T_0$  bližší k výsledkům experimentů. Howell (1953) [31] používal relace pro lokální tření na válečku  $R_f = k \cdot P^n$ . Avšak pro tuto relaci nemohl problém vyřešit přesně. Proto Howell navrhoval přibližné řešení s používáním měrných hodnot zátěže a tření na jednotkovou délku kontaktu. Předpokládal, že délka nitě opásání je  $l$ , zátěž za jednotkovou délku je  $p = P/l$  a tangenciální (třecí) síla na jednotkovou délku je  $f = R_f/l$ . Howell tak dostal vztah:

$$f = k \cdot p^n. \quad (I-12)$$



Uvažujeme kontakt mezi nití a válečkem, který má poloměr  $r$ , podle obr.6. Výsledná normálová síla způsobující na element délky  $ds=r.d\theta$  je  $T.d\theta$ , pak  $p=T/r$ . Výsledná tangentsí síla je podobná  $dT$  tak, že  $f = dT/r.d\theta$ , potom dostaneme relaci:

$$\frac{dT}{r.d\theta} = k \cdot \left( \frac{T}{r} \right)^n$$

integrací se dostává:

$$T^{1-n} - T_0^{1-n} = (1-n).k.r^{1-n}.\theta$$

kde  $T$  je výstupní napětí,  $T_0$  je vstupní napětí,  $\theta$  je úhel opásání mezi nití a válečkem. V případě, že exponent  $n$  není příliš rozdílný od jednotky, lze přepsat relaci na přibližnou formu:

$$T = T_0.e^{c.\theta} \quad (I-13)$$

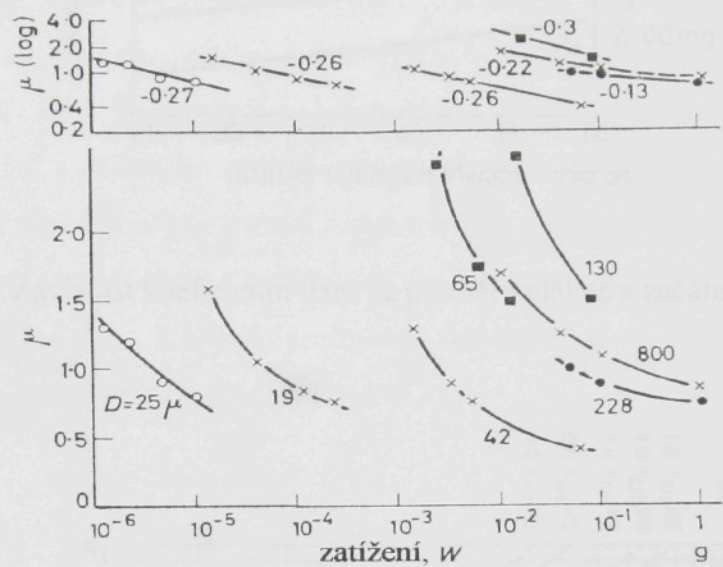
kde  $c=k.(r/T_0)^{1-n}$  je vlastně vztah pro součinitel tření závislý na tahu niti  $T_0$  a poloměru opásání  $r$ .

V rovnici (I-13) se objevuje závislost  $T$ ,  $T_0$  na hodnotách  $n$  a poloměru  $r$ . Rovnice (I-13) je podrobnější forma rovnice (I-12). Zajímavé zkoumání bylo publikováno Rubensteinem (1958)[32]. Ukázal, že Howellova relace (I-13) může dosahovat přesnost 5 procent a více v případě, kde podmínky jsou  $c.\theta \leq 0,5$  a  $n > 0,6$ . Tento názor naznačil, že koeficienty  $k$  a  $n$  nejsou konstanty, ale jejich proměna závisí na drsnosti povrchu, na zákrutu příze i na poloměru opásání.

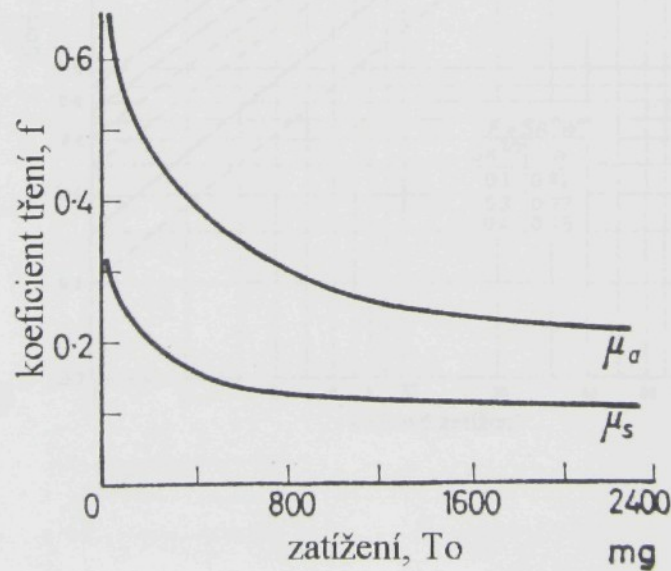
Můžeme zrekapitulovat zkoumané problémy tření pro plastické a textilní materiály: koeficient tření závisí na zatížení a geometrii povrchu. Závislost se vysvětluje vlastnostmi deformace polymerních materiálů. Sledování v oblasti kontaktu mezi plastickým a pevným povrchem však ukázalo, že deformace se nepodřizují žádným známým elastickým ani plastickým rovnicím. Avšak je zřejmé, že zákony deformace mají vlivy na širokou oblast rázů. Deformace závisí na poloměru křivosti tělesa a je časově závislá. V jednotlivých bodech kontaktní oblasti se chová podobně jako místní tření při zatížení.

Lze uvést některé výsledky zkoumané o tření i pro plastické materiály a vlákna [33]. Na obrázcích I-7, I-8, I-9 jsou naznačeny závislosti koeficientu tření na různých parametrech (na materiálech, zatíženích, průměrech vláken...). Vidíme, že závislost

koeficientu tření na zatížení bývá ve formě exponenciální funkce s různými součiniteli. Na obrázku I-7 bylo měření prováděno pro 4 materiály: PTFE( polytetrafluoroethylene), nylon 66, PVDC ( polyvinylidenechloride), Polythene. Na obrázcích I- 8, I- 9 jsou  $\mu_a$ ,  $\mu_s$  koeficienty tření, které platí pro pohyb proti- šupině vlákna nebo po- šupině vlákna.

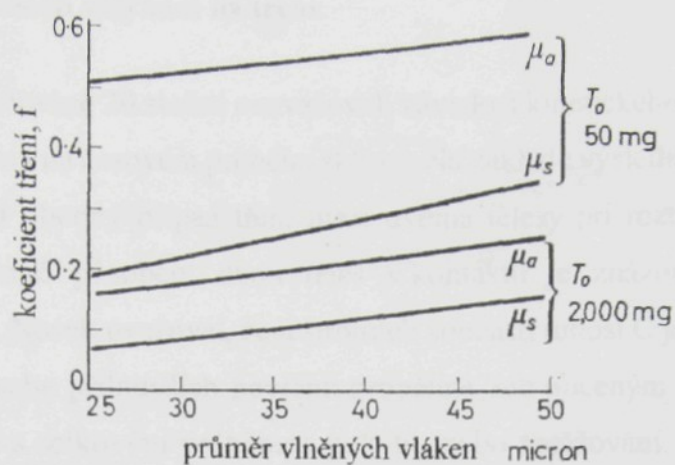


**Obr.I-7.** Závislost koeficientu tření na zatížení W pro různé materiály.

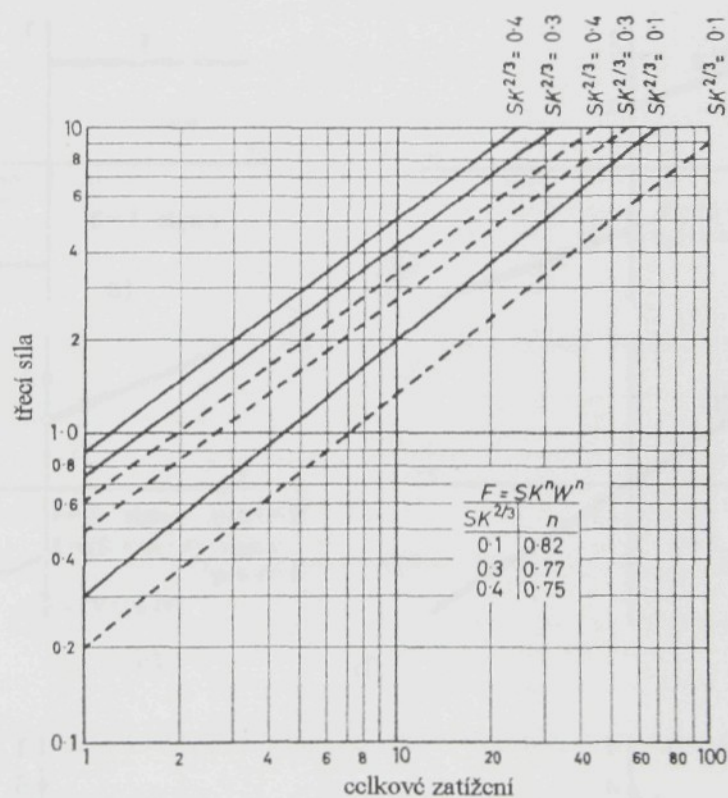


**Obr.I-8.** Závislost koeficientu tření na zatížení.





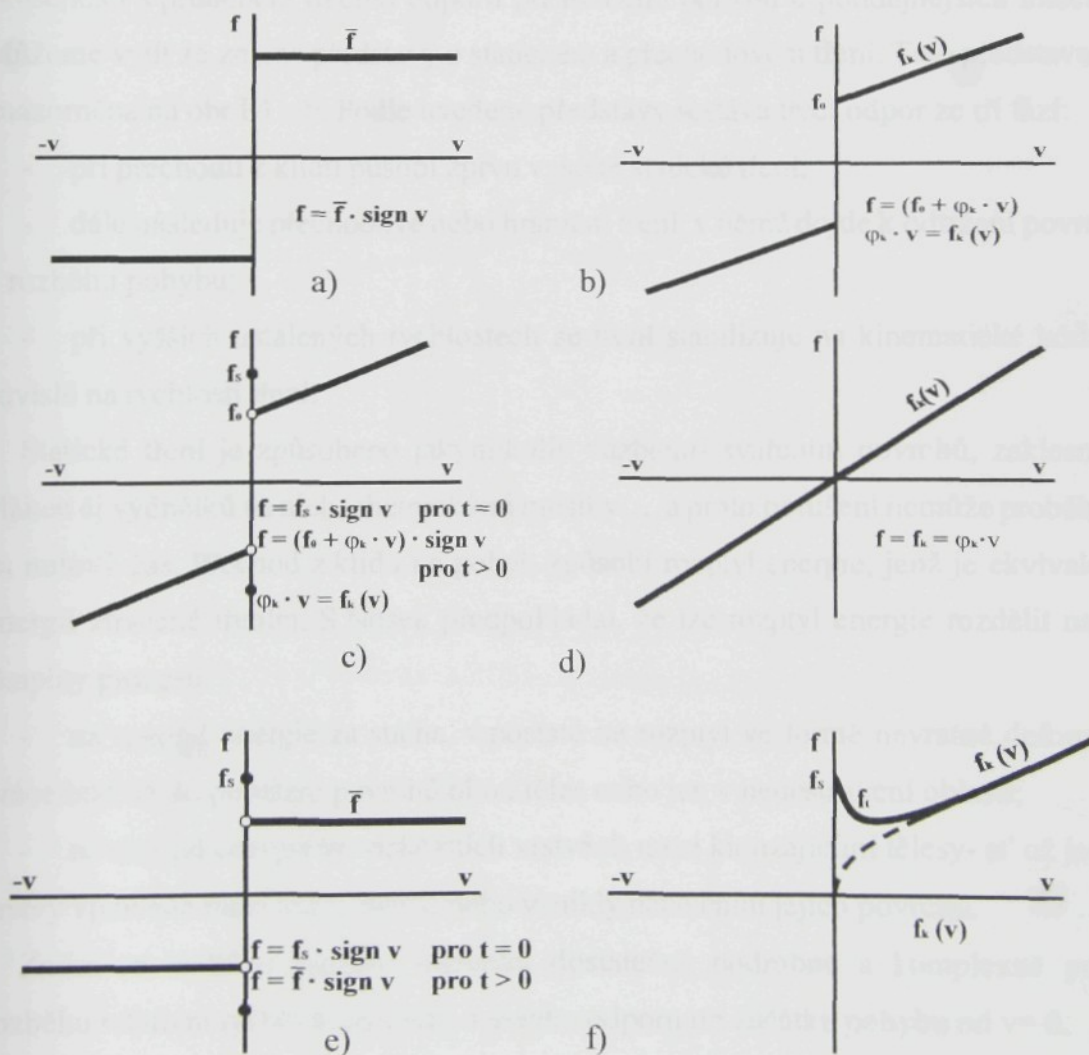
Obr.1-9. Závislost koeficientu tření na průměru vlákna a začátečním zatížení  $T_0$ .



Obr.10. Závislost třecí síly na zatížení.

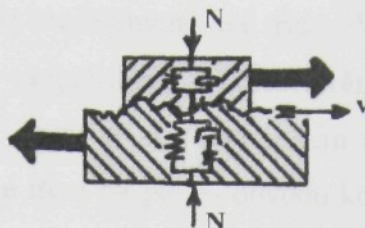
### I-3-3-2 Vliv rychlosti smýkání na tření.

Autoři v první polovině 20.století neuvažovali závislost kinetického koeficientu tření na rychlosti smýkání i na časovém průběhu skluzu. Na základě výsledků zkoumání [34], S.Nosek modeloval obecný případ tření mezi dvěma tělesy při rozběhu klouzání na obr.I-11.g). Vzájemné působení dvou těles v kontaktu je znázorněno vazebními zpruhami a tlumiči. Nosek uvažoval, že u strojních součástí tuhost  $C$  je vlastní pružnost těles. Odtržení na sebe přilnavších povrchů proběhne zde nuceným způsobem velice rychle ve srovnání s celkovým průběhem pohybu nebo zatěžování. Proto je statická hodnota tření při rozběhu někdy vysoká a rychle zanikne. U dvou textilních materiálů na sobě jsou vazební zpruhy měkké, zatěžování probíhá relativně pomalu a povrchy mají čas se od sebe oddělit. S.Nosek navrhoval vysvětlení jevu tření textilních těles hypotézou o zvláštních reologických modelech tření.





g)



**Obr.I-11.** Různé modely součinitele tření závislého na rychlosti smýkání.

Průběhy jsou znázorněny na obr.I-11. V některých modelech se počítá i se zvýšeným třecím odporem  $f_s$  při rozběhu z klidu, který po rozběhu okamžitě přeskočí na ustálené tření  $\bar{f}$  nebo na rychlostně závislé tření kinematické  $f_k(v)$ - obr.I-11.a),b), c), d), e). Takovou představu lze připustit při řešení pohybu a skluzu strojních částí. Vyplývá ze zkušenosti s průběhem třecího odporu při rozběhu pohybu u poddajnějších materiálů. Můžeme vyjít ze známé představy o statickém a přechodovém tření. Tato představa byla znázorněna na obr.I-11.f). Podle uvedené představy sestává třecí odpor ze tří fází:

- při přechodu z klidu působí zprvu vysoké statické tření;
- dále následuje přechodové nebo hraniční tření, v němž dojde k odtržení povrchů a k rozběhu pohybu;
- při vyšších ustálených rychlostech se tření stabilizuje na kinematické hodnotě, závislé na rychlosti tření.

Statické tření je způsobeno jakýmikoliv vazbami- svařením povrchů, zaklesnutím vláken či výčnělků na nich, chemickými můstky..., a proto porušení nemůže proběhnout za nulový čas. Přechod z klidu na pohyb způsobí rozptyl energie, jenž je ekvivalentní energii ztracené třením. S.Nosek předpokládal, že lze rozptyl energie rozdělit na dvě skupiny procesů:

- na rozptyl energie za sucha, v postatě na rozptyl ve formě nevratné deformační práce buď až do porušení povrchů obou těles nebo jen v nedestrukční oblasti;
- na rozptyl energie ve viskózních vrstvách mezi klouzajícími tělesy- ať už jsou to vrstvy vpravené mezi tělesa uměle nebo vznikly natavením jejich povrchů.

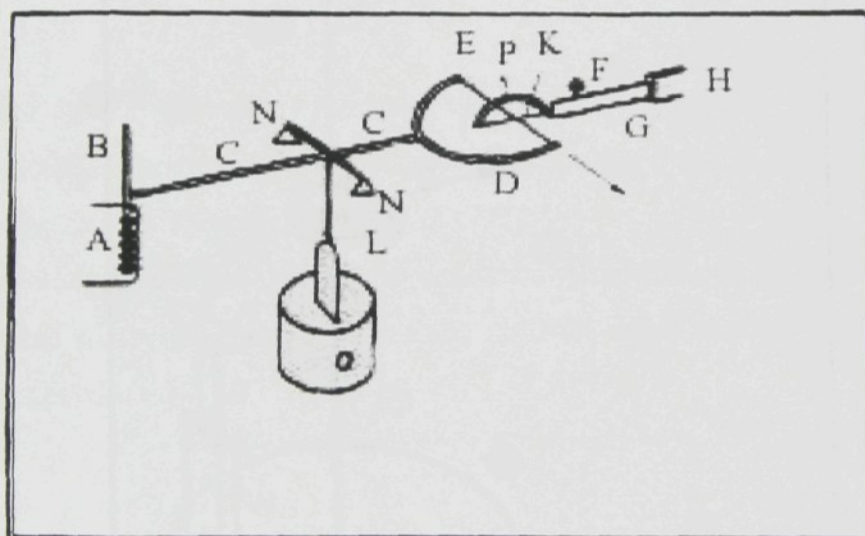
Zatím se nedařilo zachytit měřením dostatečně podrobně a komplexně průběh rozběhu relativní rychlosti smýkání a třecího odporu při začátku pohybu od  $v=0$ .

### I-3-3-3 Metody použité při měření tření u textilních materiálů.

Metody měření tření mohou být rozděleny na dvě třídy. Ve první třídě měříme tření jen v jednom bodu kontaktu, tedy tangenciálně: 1) mezi dvěma identickými přízemi, 2) mezi dvěma různými přízemi, 3) mezi přízí a netextilním materiálem (kovy, plastik, keramiky). Ve druhé třídě měříme tření na ploše- obvodu kontaktu mezi přízemi nebo příze na dalších materiálech, nebo tření vznikající na mnoha bodech kontaktu. Pro teoretický výzkum jsou vhodné metody z první třídy, protože můžeme kontrolovat dobře podmínky, které by měly dát přesněji a snadněji interpretované výsledky. Metody z druhé třídy jsou obecně vhodné v technologických vyšetřováních, v kterém průměrné hodnoty jsou zřejmě předmětem většího zájmu.

Metody měření třecího koeficientu v první třídě- na jednom bodu kontaktu:

- *měřicí přístroj zkonstruovaný Mercerem a Makinsonem (1947)[35]; princip a schéma je uvedeno na obrázku I-12.*



**Obr.I-12.** Schéma měřicího přístroje koeficientu tření.

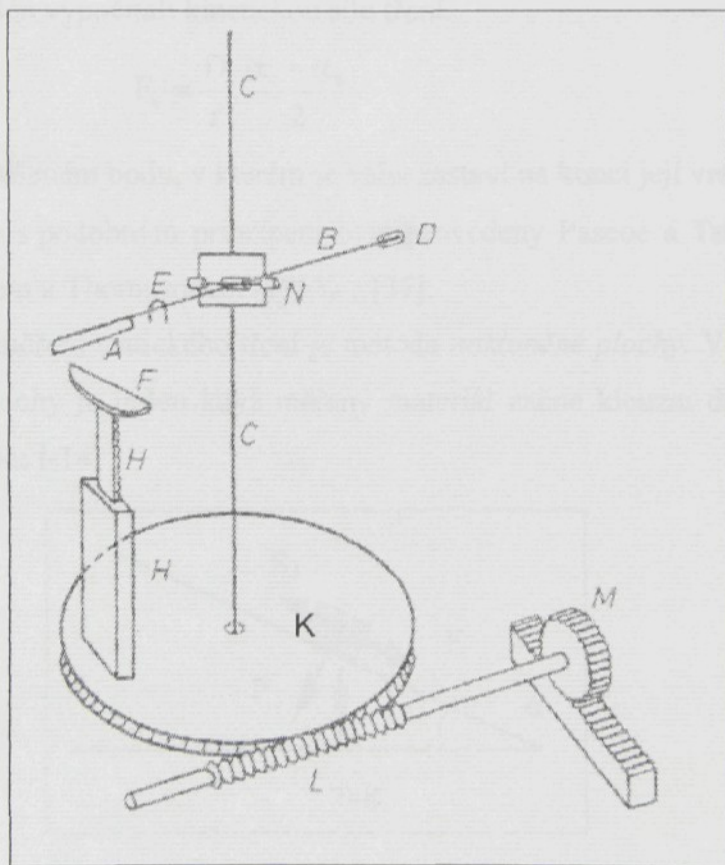
Mercerův a Makinsonův přístroj je vhodný pro měření tření mezi vlákny nebo mezi vláknem a pevným materiálem. Vláknem E a K jsou dvě vlákna k měření tření. Vláknem K je nasazeno s malým zatížením na oblouk P, který je spojen s koncem pružiny G. Druhý konec G je pevně spojen s držákem H. Vláknem E je nasazeno na oblouk D, který je upevněn na rameni váhy uložené na břítu N. Na opačném konci váhy C je připojena magnetická kotva B, která je zasunuta do cívky A. Vibrace váhy C je tlumena křídélkem



ponořeným v nádobě s olejem O. Vlákno K připojené na pružinu G se volně pohybuje v horizontální rovině. V případě, že elektrický proud probíhá cívkou A, váha C přitlačí vlákno E na vlákno K. Prvky A, B, C, D, E, N, L, O jsou namontovány na platformě, která může být řízena hydraulickým systémem. Během měřicího procesu se známou tlačnou silou mezi vlákny E a K začne pohybovat vlákno E pravým směrem, z čehož určíme třecí sílu i statické tření mezi vláknem. Když kinetický koeficient tření je menší než statický koeficient tření, tak vlákno K (s pružinou G) bude klouzat rychle k opačnému směru vlákna E a potom se zastaví na místě, které je určené dynamikami systému K, P, G.

Ten přístroj je také vhodný k měření tření, v tom jedno vlákno by se mělo pohybovat po druhém jako smyčec po struně na houslích, nebo mezi vláknem a pevným materiálem. V tomto případě se vymění oblouk P a vlákno K na zkušební vzorek.

- Olofssonův a Gralenův aparát (1947)[36] je znázorněn na obrázku I-13.



**Obr.I-13.** Schéma Olofssonovo a Gralénovo aparátu na měření tření.

Vlákno A odchýlené třecí silou je uloženo na jednom konci váhy B, která visí na horizontální svorce upevněné napjaté struně C. Na druhé straně váhy je pohyblivé protizávaží D, aby tvořilo rovnováhu na váze. Zatížení je nastaveno závažím E. Druhé vlákno F se může pohybovat nahoru nebo dolů pomocí mechanického systému H, K, M, L (ozubené kolečko, šroub). Při měření vlákno F se zdvihne na kontakt s vláknem A. Pak se kolečko K začne natáčet spolu s vláknem A. Vlivem tření mezi vlákny váhy B ještě se drží na místě počátečního kontaktu do té doby, než torsní síly krouticího drátu se stane větší než statické tření a výsledně vlákno A sklouzne. Tím způsobem lze zjistit statickou třecí sílu:

$$F_s = \frac{D \cdot \alpha_s}{r}$$

kde  $D$  je krouticí moment;  $\alpha_s$  je krouticí úhel v okamžiku, než se začne skluz;  $r$  je vzdálenost určená ze středu strunového drátu do kontaktního bodu tření.

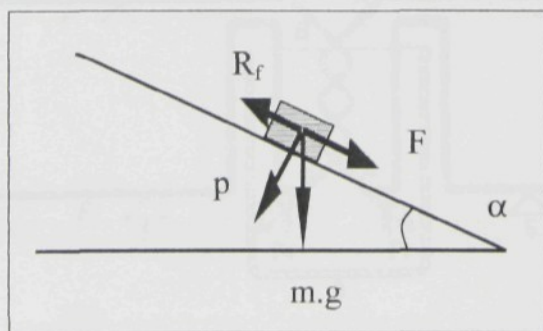
Olofsson a Gralén vypočítali kinetickou sílu tření:

$$F_k = \frac{D}{r} \cdot \frac{\alpha_s - \alpha_b}{2}$$

kde  $\alpha_b$  je úhel v zrušeném bodu, v kterém se váha zastaví na konci její vráceného kyvu.

Měřicí přístroje s podobným principem byly provedeny Pascoe a Taborem (1956), Bartlettem- Smithem a Thompsonem (1953)...[37].

Jedna z metod měření statického tření je metoda *nakloněné plochy*. V tomto případě úhel nakloněné plochy je určen když měřený materiál začne klouzat dolů. Princip je zobrazen na obrázku I-14.



**Obr.I-14.** Metoda nakloněné plochy k měření tření.

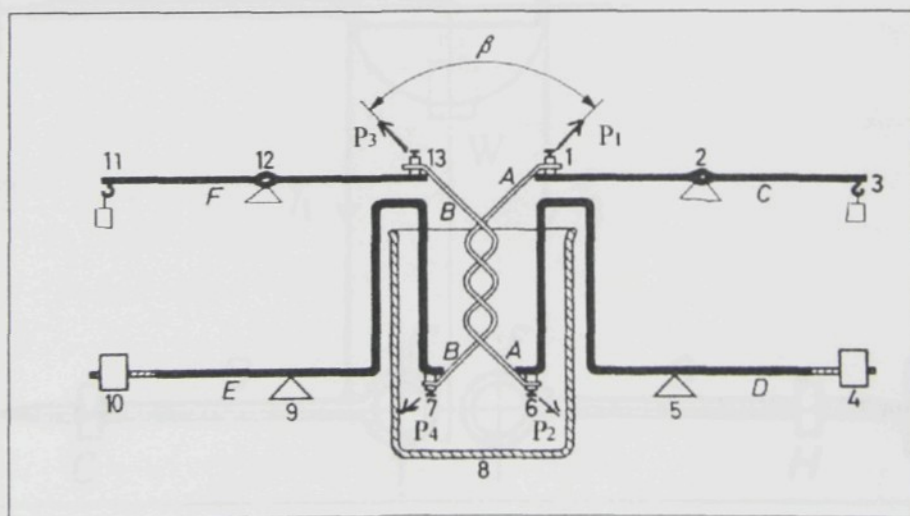


Zjistíme koeficient tření podle základní rovnice:

$$f = \frac{R_f}{P} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

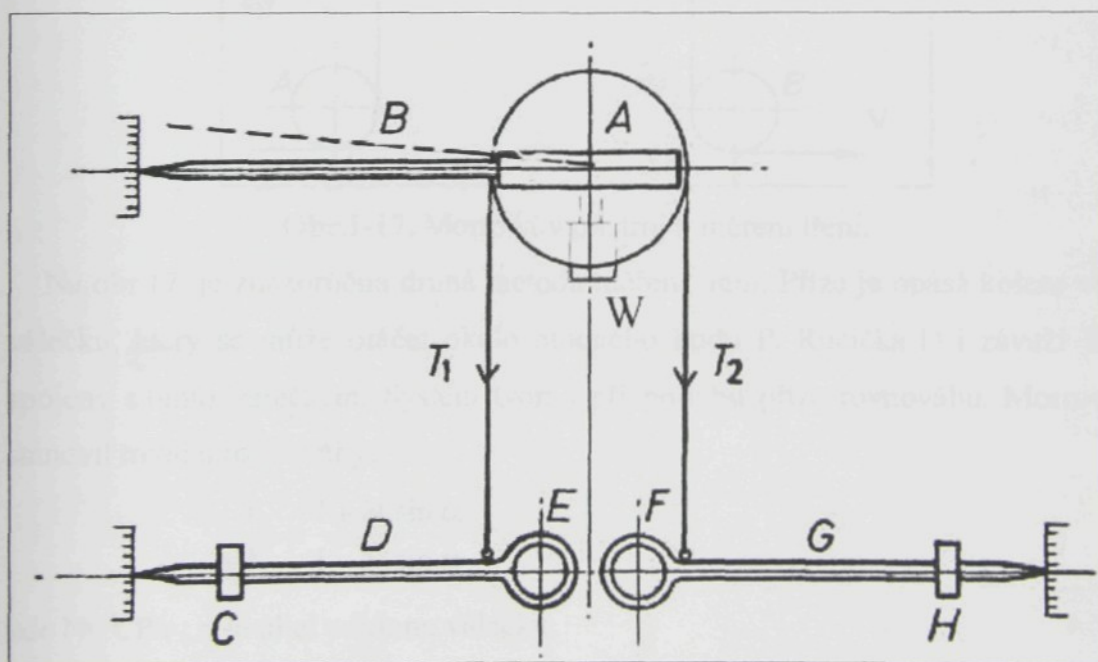
K měření tření mezi vlákny byla používána *metoda zkroucených vláken* Lindberga a Galéna [38]. V této metodě dvě vlákna A a B jsou zkroucena společně  $n$  krát, úhel i zkroucení mezi nimi je  $\beta$ . V zkrouceném stavu vlákno B začíná v horním levém konci a skončí v spodním levém, vlákno A začíná v horním pravém konci a skončí v spodním pravém. Všechny 4 konce jsou spojeny na váze C, D, E, F (viz. obr. I-15). Horní konce vláken jsou spojeny svorkami 1 a 13 s rameny zkroucenými C, F. V obou vláknech působí síla  $P_1$  způsobená vychýlenými raménky C a F, dolní raménka D, E jsou drženy v rovnováze. Na vlákno A síla  $P_1$  je způsobena dolní pravým raménkem D. Měření rovnováhy D začíná, když na horní konci vlákna A je působí zvýšená síla  $P_{2s}$  prostřednictvím horní pravého torsního raménka C do té doby, než dojde k prokluzu. Koeficient tření se vypočítá ze vztahu plynoucího ze tření ve zkroucených vláknech:

$$f_s = \frac{\ln \frac{P_{2s}}{P_1}}{\pi \cdot n \cdot \beta}$$



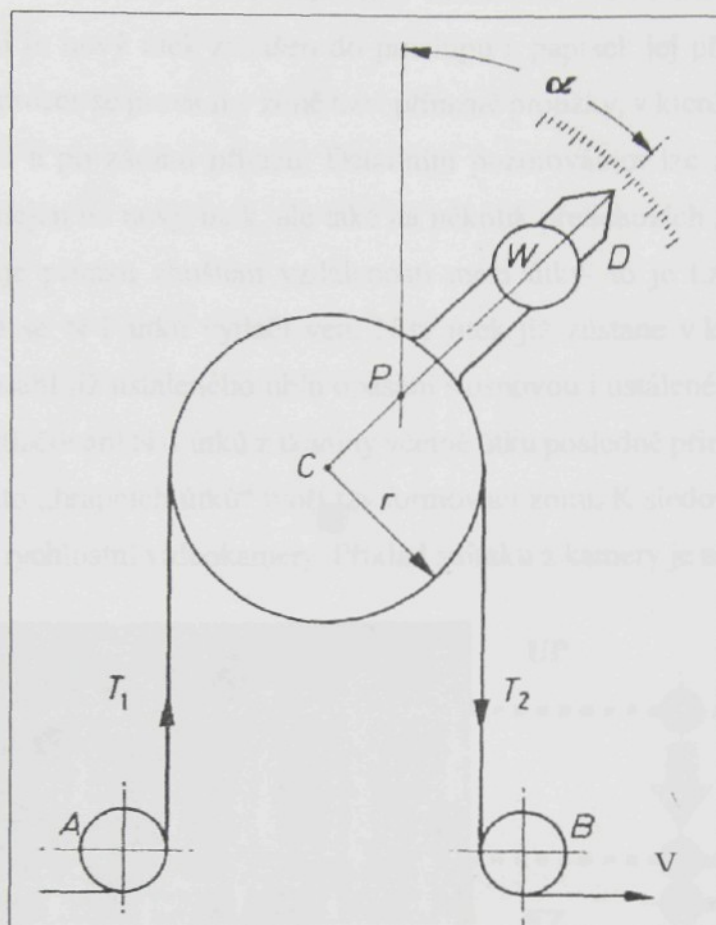
Obr. I-15. Metoda zkroucených vláken Lindberga a Galéna.

Měřicí metoda tření příze pohybující přes váleček používá klasického zákona Amontons- Coulombova (viz.I-10), který má formu:  $T_2 = T_1 \cdot e^{f \cdot \theta}$ . Měření může být prováděno dvěma různými cestami: příze se nepohybuje a váleček se otáčí, nebo příze probíhá a váleček stojí. Metody, které používají rotujícího válečku, byly realizovány Saxlem (1936), Mercerem (1945), Kingem (1950), Roderem (1955)...Metody, které používají nehybného válečku, byly prováděny Lipsonem a Howardem (1947), Frishmanem a Harrisem (1948), Morrowem (1931)...Způsob měření lze ilustrovat například Saxlovou metodou [39] na obr.I-16. Dva konce  $T_1$  a  $T_2$  příze se opásají na váleček A, který se může otáčet volně. Konce  $T_1$ ,  $T_2$  se upevní na páky D a G, které jsou volné a pohybují se kolem bodů E a F. Rameno B je spojeno pevně s válečkem. Měření spočívá v zastavení rotace kladky A, dojde k pohybu ramena třecí silou přízi, která je pod výsledným napětím z dvou zatížení C,H aplikovaných na konce příze. Zatížení může být změněno posunem závaží C a H po pákách. Když dojde k rovnováze, je možno zjistit koeficient statického tření podle rovnice (I-10).



Obr.I-16. Saxův přístroj k měření tření.





Obr.I-17. Morrowův přístroj k měření tření.

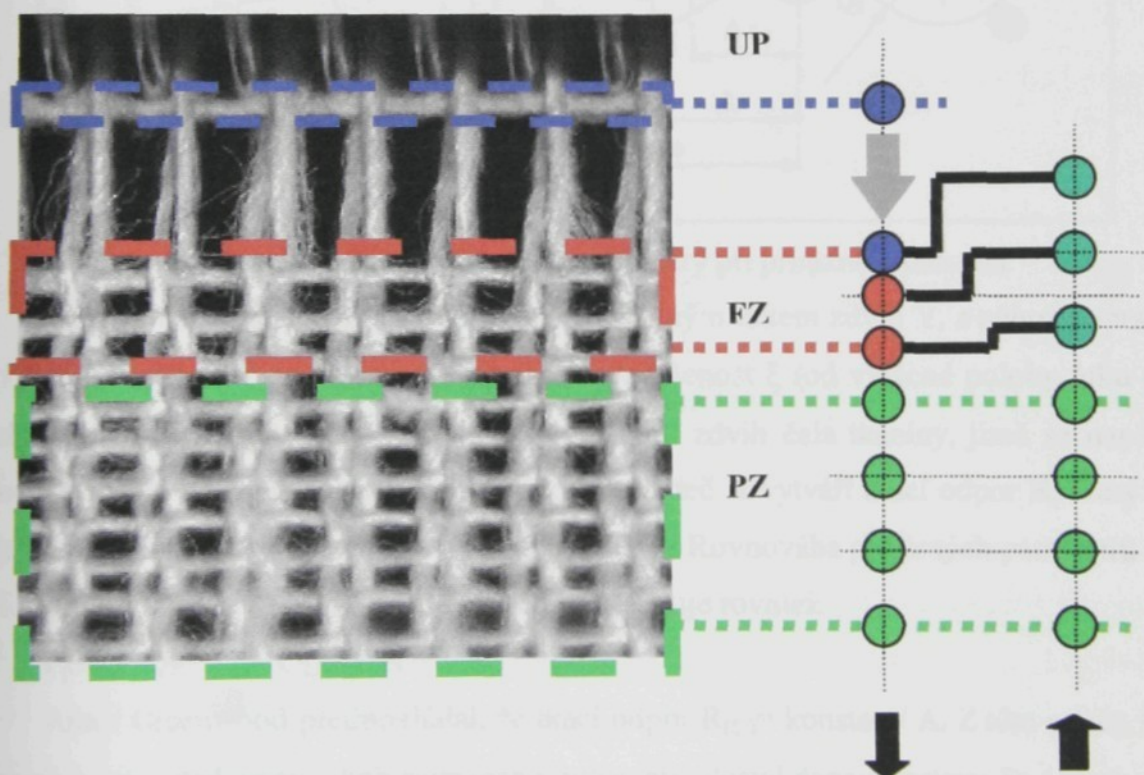
Na obr.17. je znázorněna druhá metoda měření tření. Příze je opásá kolem velkého válečku, který se může otáčet okolo otočného bodu P. Ručička D i závaží W jsou spojeny s tímto válečkem. Systém tvoří i při pohybu příze rovnováhu. Morrow [40] stanovil rovnici rovnováhy:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{1 + N \cdot \sin \alpha}{1 - N \cdot \sin \alpha}$$

kde  $N = CP/r$ ;  $\alpha$  je úhel odklonu válečku.

## II- Problém formovací zóny a pohybu útků.

Proces formování tkaniny je vytváření „vazné buňky“, která sestává z překřížené osnovní a útkové nitě a je tvořena pomocí funkčního mechanismu na tkací stroji. V procesu tkaní je nový útek zanášen do prošlupu a paprsek jej při přírazu vtlačí do tkaniny. Tento proces se provádí v zóně t.z.v. přírazné proužky, v které dochází k pohybu útků při přírazu a po zániku přírazu. Detailním pozorováním lze zjistit, že přírazný proces působí nejen na nový útek, ale také na několik předchozích zatkaných útků (N útků), způsobuje přírazu zhuštění vzdálenosti mezi útky- to je t.z.v. hnutí útků. Po skočení přírazu se N-1 útků vytlačí ven, N-tý útek již zůstane v konečné poloze ve tkanině, kde dosáhl již ustáleného úhlu opásání s osnovou i ustáleného rozestupu mezi útky. Zpětné vytlačování N-1 útků z tkaniny včetně útku posledně přiraženého se nazývá vrat. Oblast takto „hrajících útků“ tvoří tzv. formovací zónu. K sledování hnutí a vratu útků lze použít rychlostní videokamery. Příklad snímku z kamery je na obr.II-1.

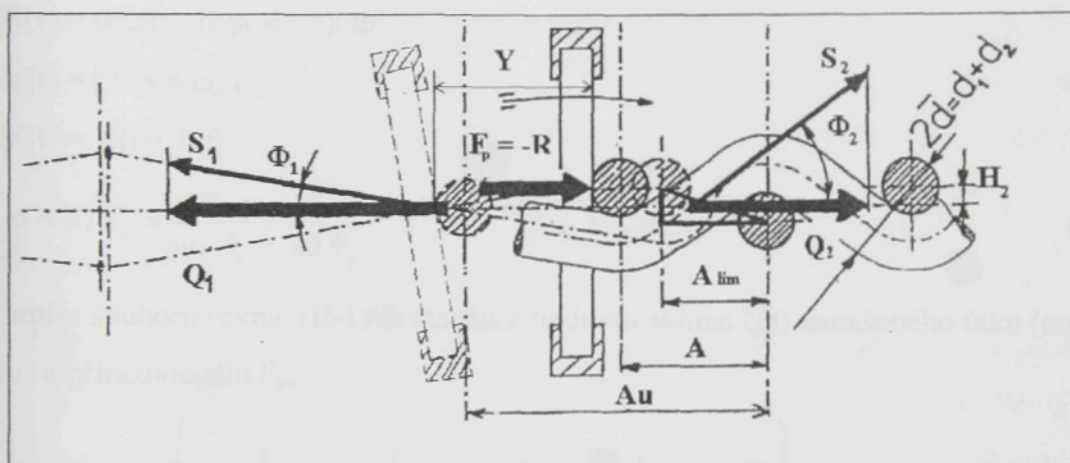


**Obr.II-1.** Pohyb útků při přírazu. Vlevo (sloupec ↓) je zidealizovaný proces stlačování útků, sloupec ↑ je proces vytlačování (vrat).



Působením paprsku při přírazu na útek dojde k protažení osnovy a ke skluzu nového útku do tkaniny (nulový útek), pak dojde k pohybu prvního útku a postupně pohybu dalších útků. Tím vzniká zvýšení úhlu opásání mezi osnovou a útkem od posledního N-tého útku až k útku na čele tkaniny. Současně rozestupy mezi dvěma útky ( nulový a první útek, první a druhý útek,..., (N-1)-tý a N-tý útek ) se postupně zvyšují od ustálené hodnoty dostavy k čelu tkaniny. Pohyb útků ne proběhne najednou, ale přesto probíhá ve velmi krátké době. Průběh přírazného procesu lze znázorňovat silami a deformacemi osnovy a tkaniny.

## II-1 Silové a geometrické poměry ve formovací zóně.



Obr.II-2. Síly a geometrické poměry při přírazném procesu.

Paprsek vykonává ve styku s posledně zanešeným útkem zdvih  $Y$ , z něhož paprsek využije část na vtažení útku do tkaniny o vzdálenost  $\xi$  (od vložené polohy útku do daného rozestupu  $A=1/D_2$ ). Zbytek  $X$  je pružný zdvih čela tkaniny, jímž se napíná osnova proti tlaku paprsku. Zhuštění útku na rozteč  $A$  vytváří tkací odpor  $R$ , který je překonáván právě příraznou silou  $F_p$  (viz.obr.II-2). Rovnováha přírazných parametrů ve formovací zóně pro nízkou tkací rychlost se objevuje rovnici:

$$F_p = Q_1 - Q_2 = (C_1 + C_2) \cdot X = R$$

Autor Greenwood předpokládá, že tkací odpor  $R_{(\xi)} = \text{konstant} / A$ . Z této relace lze vyplynout požadovaný zdvih přírazného pulsu, aby dostal danou dostavu  $D_2$  ( rozestup

$$A): \quad Y = (A_u - A) \cong \frac{\text{konstant}}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{A}$$

V současné době tkací stroje pracují s velikou rychlostí. Skluz útku probíhá proti tkacím odporu  $R$ , který sestává ze složky geometrické  $R_g$ , způsobené stříhavým působením překřížených osnovních nití, a ze složky třecí  $R_f$ :

$R = R_g + R_f \approx \alpha \cdot \xi(t) + \beta \cdot f(v_\xi)$ . Součinitel tření není konstanta, ale závisí na rychlosti skluzu  $V_\xi$ . Předpokládáme, že kinematické tření mezi nitmi se podřídí lineární zákon ve přírazném procesu; pak součinitel tření  $f(v_\xi) \equiv \varphi_k \cdot V_\xi(t)$ .

Celou situaci můžeme vyjádřit pomocí souboru přírazných rovnic [41]:

$$F_p(t) - R(t) = 0$$

$$F_p(t) = (C_1 + C_2) \cdot X(t)$$

$$R(t) = \alpha \cdot \xi(t) + \beta \cdot \varphi_k \cdot d \xi(t) / dt$$

$$Y(t) = |Y| \sin \omega_p t;$$

$$Y(t) = X(t) + \xi(t).$$

$$\omega = \pi / T_p = \frac{\pi}{\psi_p \cdot T_c} = \frac{\pi \cdot n}{60 \cdot \Psi_p} \quad (II-1)$$

Řešením souboru rovnic (II-1) dostáváme hodnotu skluzu  $\xi(t)$  zanášeného útku (nového útku) a příraznou sílu  $F_p$ .

$$\begin{aligned} \xi(t) &= K_\xi |Y| \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}} \cdot \sin(\omega_p t - \psi_\xi) + \frac{\omega_p T_t}{\sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}} e^{-t/T_t} \right] \\ F_p(t) &= K_\xi |Y| \left[ \frac{\sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}}{\sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}} \sin(\omega_p t + \psi_R) - \frac{\omega_p T_t}{\sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2}} e^{-t/T_t} \right] = R(t) \end{aligned} \quad (II-2)$$

kde  $K_\xi = (C_1 + C_2) / (C_1 + C_2 + \alpha)$  je konstanta úměrnosti a  $T_t = (\beta \cdot \varphi_k) / (C_1 + C_2 + \alpha)$ ;

$T_{t2} = (\beta \cdot \varphi_k) / \alpha$  jsou tzv. časové konstanty útkového pohybu při harmonickém přírazném pulsu. Z rovnice (II-2) vidíme, že průběh smýkání útku  $\xi(t)$  i průběh přírazné síly jsou částečné harmonické průběhy. Tato rovnice ukazuje souvislost skluzu útku s silovými a geometrickými parametry při přírazu, současně z této rovnice plyne relace amplitudy přírazného pulsu (absolutní hodnoty) nutné pro dosažení požadovaných hodnot  $|\xi|$  a  $|F_p|$  nebo  $|R|$ :



$$|Y| = |\xi| \frac{1}{K_\xi} \sqrt{1 + \omega_p^2 T_t^2} \quad (\text{II-3})$$

$$|F_p| = |\xi| \cdot \alpha \cdot \sqrt{1 + \omega_p^2 T_{t2}^2}$$

S hnutím útků proti tkacímu odporu souvisí i spotřeba energie na příraz. Spotřeba je tím větší, čím více útků „hraje“ na čele tkaniny. Avšak soubor rovnic (II-1), (II-2), (II-3) nestačí, aby bylo popsáno vzájemné působení mezi útky na sebe i mezi útkem a osnovou v celé formovací zóně. Protože dynamika pohybu nití v přírazné proužce hraje klíčovou roli ve tvorbě tkaniny za vysokých tkacích rychlostí, je tato oblast včetně otázek kinematického tření mezi nitmi dále zkoumána- je to hlavní část disertační práce.

Pro popis provázání mezi osnovami a útky ve tkanině byla vytvořila celá řada pokusů o nalezení vhodného modelu shodného co nejlépe se skutečností [42]. Jeden z nejznámějších je Peirceův model provázání. Tento model bude nadále používán v této práci na řešení hnutí útků ve formovací zóně.

### Peirceův model

Peirceův model sestává z přímých a kruhových úseků nití provazujících s příčnými nitmi s kruhovým průřezem (obr.II-3). Přesnost této geometrie je poměrně nízká, zejména při zjišťování úhlů provázání. Důvodem je fakt, že příze ve tkanině nemá ve skutečnosti nikde přímý úsek, ale má esovitý tvar. Peirceova geometrie je přesto používána pro svou jednoduchost.

Základní parametry obsahují sedm parametrů: výška zvlnění  $H_1$  a  $H_2$ , rozteč  $A$  po útku a  $B$  po osnově, průměry  $d_o$  a  $d_u$ , volná délka nitě  $a$ . Jestliže známe čtyři parametry, můžeme zjistit parametry ostatní.

$$\text{Platí: } 2 \cdot d_s \cdot \sin \theta + a \cdot \cos \theta = A$$

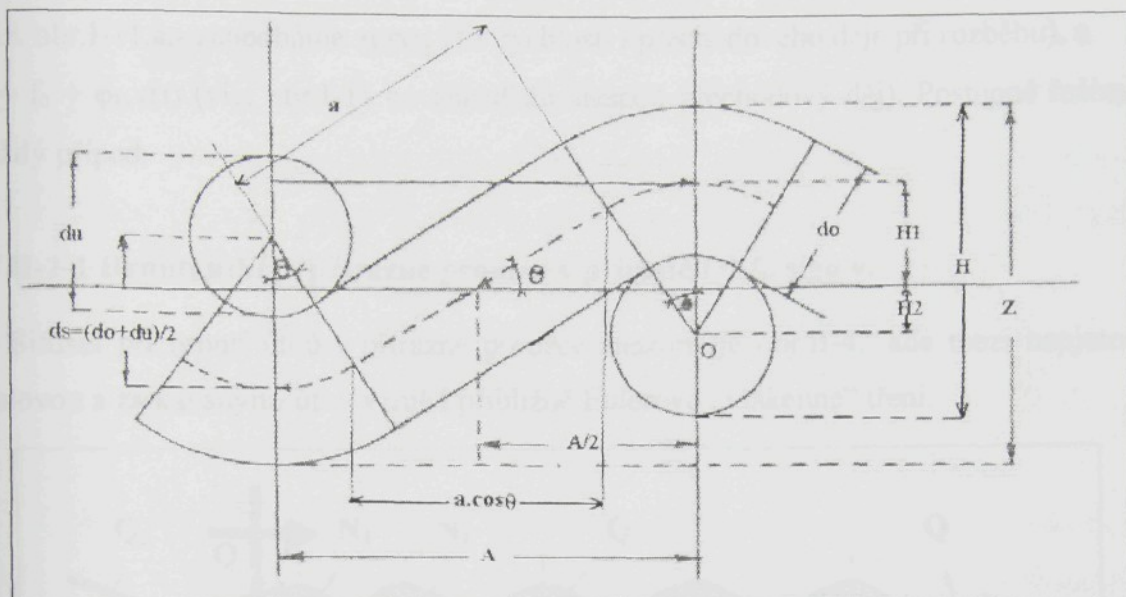
$$d_s \cdot (1 - \cos \theta) + a \cdot \sin \theta = 2 \cdot H_1$$

$$2(H_1 + H_2) = H = d_o + d_u$$

$$Z = 2 \cdot H_1 + d_o$$

$$\cos \theta = \frac{4d_s^2 e_2 + \sqrt{A^4 - 4A^2 d_s^2 (1 - e_2^2)}}{A^2 + 4d_s^2 e_2^2} \quad (\text{II-4})$$

kde  $e_2 = H_2/d_s$  je relativní obecně nesymetrické zvlnění útku; podobně  $e_1 = H_1/d_s$  pro osnovu.  $d_s/A$  je lineární zaplnění tkaniny útkem;  $Z$  je tloušťka tkaniny.



Obr.II-3. Peirceův model provázání.

## II-2. Vliv tření nití po nití na formování tkaniny.

Posuvy útku ve formovací zóně (hrnutí a vrat) jsou způsobeny vzájemným působením útků na sebe navzájem prostřednictvím překřížených osnovních nití (stříhavý účinek osnovy). Proti vtlačování i vytlačování útku však působí třecí odpory mezi útky a osnovními nitmi, jež mohou být popsány Eulerovým zákonem opásání pro vlákenné tření. Koeficient tření mezi nitmi hraje důležitou roli vlivu na počet útků zúčastňujících se pohybu skluzu i na velikost jejich posuvů. Na koeficient tření působí hodně faktorů, jsou to především:

- materiály: druh materiálu, fyziko-mechanické charaktery materiálů (jemnost, rovnoměrnost,...).
- prostředí a pracovní režim: teplota a vlhkost vzduchu, zatížení způsobí v pracovním procesu.
- rychlost relativního pohybu mezi nitmi.

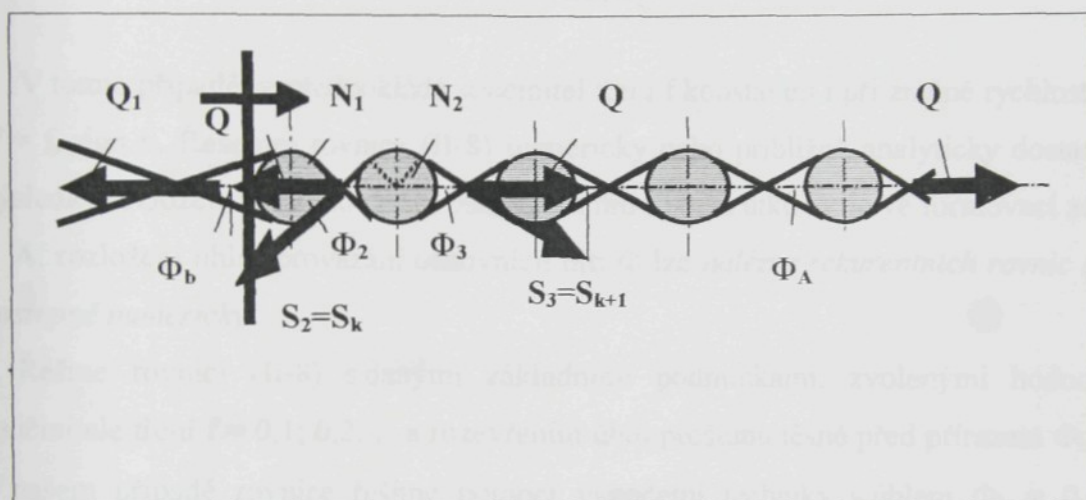
V těchto faktorech dva první byly zkoumány H. G. Howellem [43], jejich výsledky se obrazují v příloze. Musíme zde řešit hlavní problém, taký je vliv rychlostně závislého tření na zhušťování útků při a po přírazu. V části o modelech tření nitě jsme uvedli řadu představ o tření.



Zvolme zprvu jen jednoduchá vyjádření součinitele tření v formě  $f = f_s \cdot \text{sign } v$  (viz. obr.I-11.a.- zanedbáme zprvu vliv rychlosti i přechodového děje při rozběhu), a  $f = f_0 + \varphi_k \cdot v(t)$  (viz. obr.I-11.b.- zanedbán alespoň přechodový děj). Postupně řešíme každý případ.

### II-2-1 Hrnutí útků v přírazné proužce v případě $f = f_s$ . sign v.

Situaci při hrnutí útků v přírazné proužce znázorňuje obr.II-4., kde mezi napjatou osnovou a zatkávanými útky vzniká přibližně Eulerovo „vláknenné“ tření.



**Obr.II-4.** Rozložení útků při přírazné proužce

Jak je uvedeno v pracích [44] rozložení sil  $S_{0,1,\dots,N}$  a úhlů provázání  $\Phi_{0,1,\dots,N}$  se mění postupně od nultého útku do N-tého útku,...Jejich relace jsou vyjadřovány Eulerovým zákonem o vlákném tření. Při přírazu dostaneme relaci na libovolném k-tém útku:

$$S_K \cdot \cos \Phi_K = S_{K+1} \cdot \cos \Phi_{K+1} = Q \quad (\text{II-5})$$

$$S_K = S_{K+1} \cdot e^{f(\Phi_K + \Phi_{K+1})} \quad (\text{II-6})$$

Od (II-5), (II-6) plyne relaci:

$$e^{i\Phi_K} \cdot \cos \Phi_K = e^{-i\Phi_{K+1}} \cdot \cos \Phi_{K+1} \quad (\text{II-7})$$

Rovnice (II-7) představuje rekurentní vztah pro klesající posloupnost úhlů provázání na čele tkaniny při přírazu. Klesání úhlů se počítá z přírazného úhlu  $\Phi_p$  nultého útku do ustáleného úhlu uvnitř tkaniny  $\Phi_A$  daného nastavenou dostavou.

Po odstoupení paprsku od čela tkaniny rozložení sil i úhlů opásání bude dáno rovnicí s prohozenými znaménky:

$$e^{-i\Phi_K} \cdot \cos \Phi_K = e^{+i\Phi_{K+1}} \cdot \cos \Phi_{K+1} \tag{II-8}$$

Podle této rovnice průběh rozložení úhlů opásání útků klesá postupně z ustáleného úhlu N-tého útku do vnějšího útku, současně vzdálenost mezi útky stoupá. Z teorie Peirceovy geometrické struktury vyplývá relace parametrů tkaniny (viz.II-4).

$$\cos \Phi = \frac{4.d_s^2.e_2 + \sqrt{A^4 - 4.A^2.d_s^2(1-e_2^2)}}{A^2 + 4.d_s^2.e_2^2}$$

V tomto případě se předpokládá součinitel tření  $f$  konstantní i při změně rychlosti, tj.  $f = f_s \cdot \text{sign } v$ . Řešením rovnice (II-8) numericky nebo přibližně analyticky dostaneme výsledky rozložení úhlů provázání osnovních nití i počet útků hraje ve formovací zóně.

A. rozložení úhlů provázání osnovních nití  $\Phi$  lze nalézt z rekurentních rovnic (II-8) postupně numericky.

Řešme rovnici (II-8) s danými základními podmínkami: zvolenými hodnotami součinitele tření  $f = 0,1; 0,2; \dots$  a rozevřením úhlů prošlupu těsně před přírazem  $\Phi_b = 0$ . V našem případě rovnice řešíme pomocí výpočetní techniky s úhlem  $\Phi_b = 0$ , pak dostaneme hodnoty  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots$  pro každé hodnoty tření  $f$ .

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f                  | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
| $\Phi_1(^{\circ})$ | 11,4 | 22,3 | 32,5 | 41,6 | 49,6 | 56,3 | 62,1 | 66,9 | 70,8 |

Nárůst prvního provazujícího úhlu  $\Phi_1$  s rostoucím koeficientem tření  $f$  při rozevření prošlupu pře přírazném  $\Phi_b = \Phi_0 = 0$  je zřejmý z předchozí tabulky. Podle obrázku, pokud známe hodnotu úhlu  $\Phi_A$  v uklidněné tkanině na N-tém útku na konci přírazu, můžeme zjistit počet  $N$  pohyblivých útků ve formovací zóně. Výsledky rozložení úhlů po koeficientu třené  $f$  jsou znázorněny v tabulce a následujícím grafu (viz.tab.II-1 a obr.II-5).



Na obrázku křivky  $f=0,1; f=0,2; f=0,3; \dots f=0,9$  odpovídají různým koeficientům tření. Tato situace rozložení úhlů provázání platí pro útky v případě, kde paprsek odstoupí od čela tkaniny, tj. po přírazu. Pro tento případ platí:

$$\Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3 < \dots < \Phi_N$$

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_N.$$

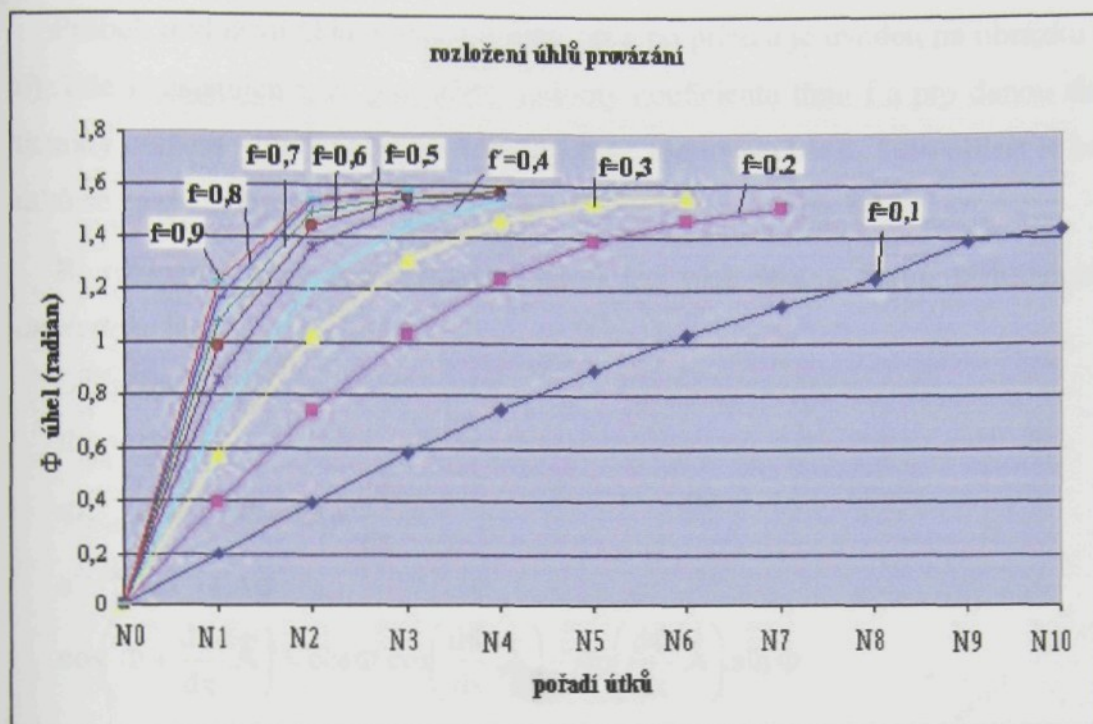
| f           | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Phi_1$    | 0,2  | 0,39 | 0,57 | 0,72 | 0,86 | 0,98 | 1,08 | 1,16 | 1,23 |
| $\Phi_2$    | 0,39 | 0,74 | 1,02 | 1,22 | 1,36 | 1,44 | 1,49 | 1,53 | 1,54 |
| $\Phi_3$    | 0,58 | 1,03 | 1,31 | 1,45 | 1,52 | 1,55 | 1,55 | 1,57 | 1,57 |
| $\Phi_4$    | 0,75 | 1,24 | 1,46 | 1,54 | 1,56 | 1,57 | 1,56 | -    | -    |
| $\Phi_5$    | 0,9  | 1,38 | 1,53 | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| $\Phi_6$    | 1,03 | 1,46 | 1,55 | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| $\Phi_7$    | 1,14 | 1,51 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| $\Phi_8$    | 1,24 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| $\Phi_9$    | 1,38 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| $\Phi_{10}$ | 1,43 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

**Tabulka II-1.** Hodnoty úhlů (radián).

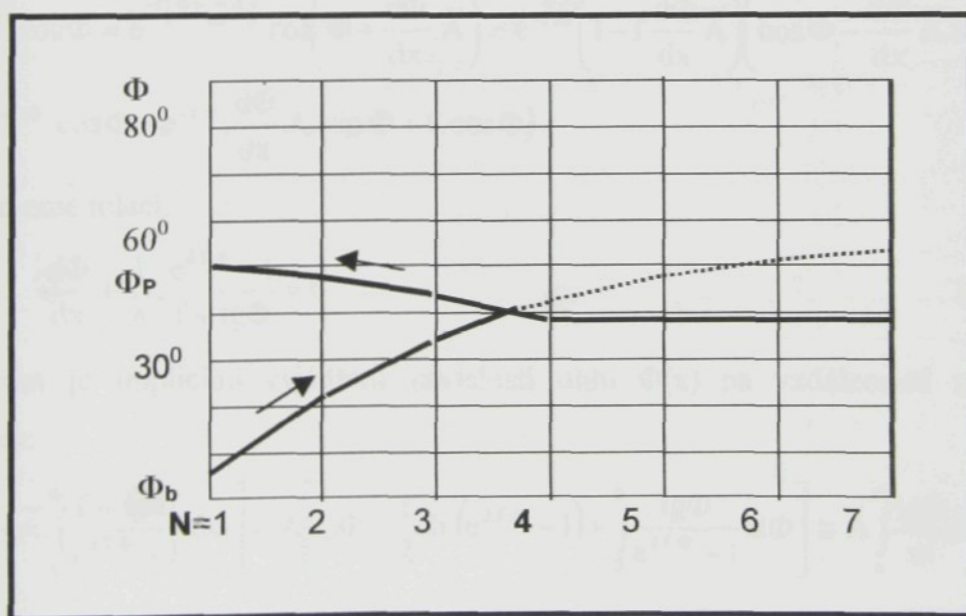
Rozložení úhlů při přírazu je naopak dáno převráceným pokračováním křivky rozložení v obrázku (obr.II-5). Křivka nyní stoupá od ustáleného úhlu  $\Phi_A$  směrem zpět k čelu tkaniny, kde skončí vysokým úhlem přírazu  $\Phi_p$  - to je úhlem rozevření nití na posledním ( právě přiřáženém útku) anebo úhlem rozevření nití na hraně přírazného elementu. V tomto případě platí relace:

$$\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3 > \dots > \Phi_N.$$

$$A_1 < A_2 < A_3 < \dots < A_N.$$



**Obr.II-5.** Úhly provázání útků pro různé koeficienty tření.



**Obr.II-6.** Rozložení vazných úhlů ve formovací zóně.



Průběh rozložení úhlů provázání útků při a po přírazu je uveden na obrázku (obr.II-6). Zde konstatujeme, že pro určité hodnoty koeficientu tření  $f$  a pro danou dostavou tkaniny můžeme zjistit počet útků hrajících ve formovací zóně. Tuto oblast  $N$  hrajících útků se nazývá přírazná proužka.

**B.** rozložení úhlů podle rovnice (II-7) lze však také s jistou přibližností řešit analyticky [45]:

Označme

$$\Phi_K = \Phi$$

$$\Phi_{K+1} = \Phi + \Delta\Phi \cong \Phi + \frac{d\Phi}{dx} \bar{A}$$

$$e^{-f \cdot \Delta\Phi} \cong 1 - f \cdot \Delta\Phi$$

$$\cos\left(\Phi + \frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) = \cos\Phi \cdot \cos\left(\frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) - \sin\left(\frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) \cdot \sin\Phi$$

Pro malý vzrůst úhlu  $d\Phi/dx$ , uvažujeme:

$$\cos\left(\frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) \cong 1; \sin\left(\frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) \cong \frac{d\Phi}{dx} \bar{A}$$

Rovnice (II-7) upravme na diferenciální tvar:

$$\begin{aligned} e^{f \cdot \Phi} \cdot \cos\Phi &= e^{-f \left(\Phi + \frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right)} \cdot \cos\left(\Phi + \frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) = e^{-f \cdot \Phi} \left(1 - f \frac{d\Phi}{dx} \bar{A}\right) \left(\cos\Phi - \frac{d\Phi}{dx} \bar{A} \cdot \sin\Phi\right) \\ &\cong e^{-f \cdot \Phi} \cdot \cos\Phi - e^{-f \cdot \Phi} \cdot \frac{d\Phi}{dx} \bar{A} \cdot (\sin\Phi + f \cdot \cos\Phi) \end{aligned}$$

Dostaneme relaci:

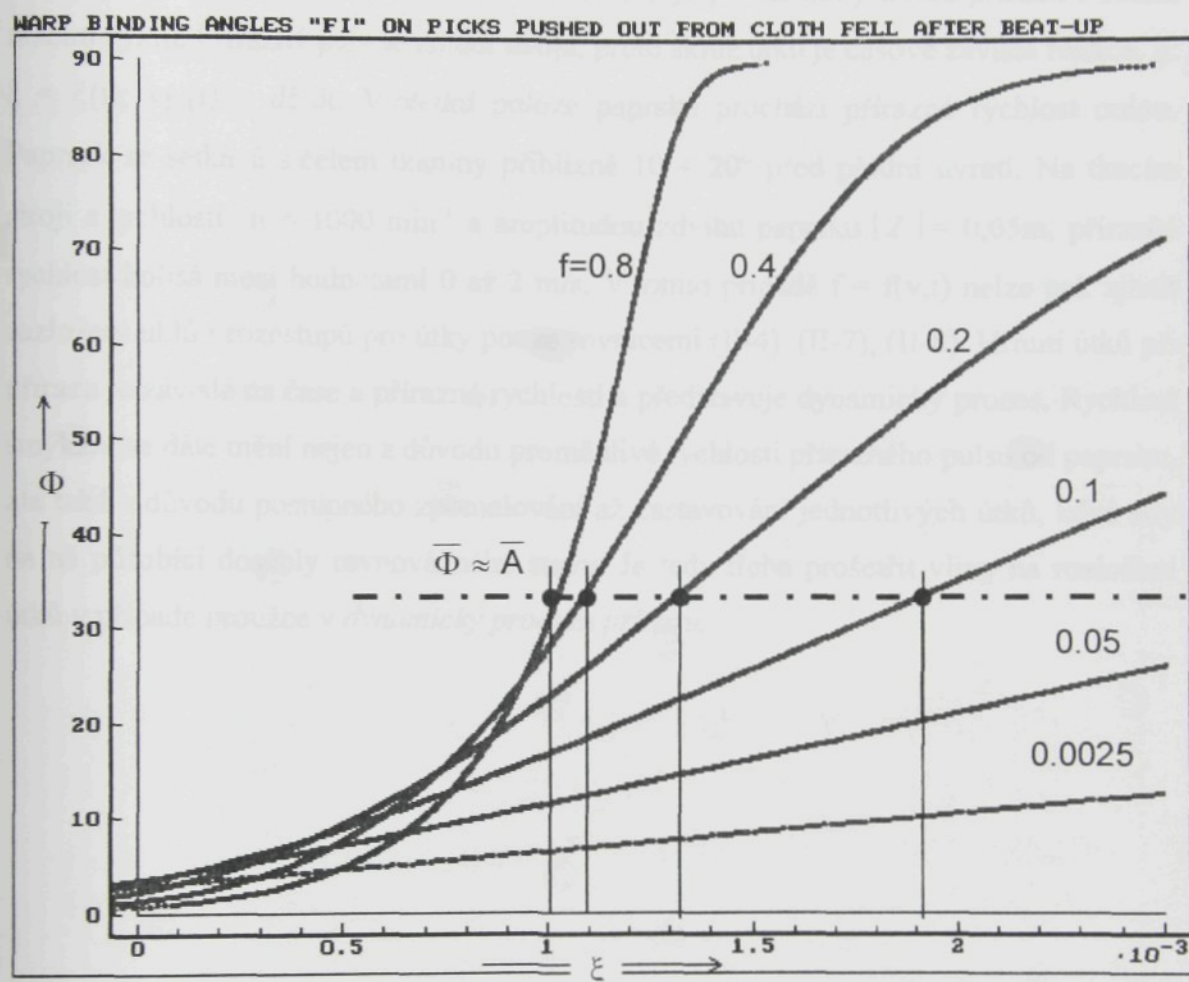
$$\frac{d\Phi}{dx} + \frac{1}{\bar{A}} \cdot \frac{e^{2f \cdot \Phi} - 1}{f + \operatorname{tg}\Phi} = 0 \quad (\text{II-9})$$

Řešením je implicitní vyjádření závislosti úhlu  $\Phi(x)$  na vzdálenosti  $x$  od čela tkaniny:

$$\left[ x = -\bar{A} \cdot \int_0^\Phi \frac{f + \operatorname{tg}\Phi}{e^{2f \cdot \Phi} - 1} \cdot d\Phi \right] = \bar{A} \left[ f \cdot \Phi - \frac{1}{2} \cdot \ln(e^{2f \cdot \Phi} - 1) + \int_0^\Phi \frac{\operatorname{tg}\Phi}{e^{2f \cdot \Phi} - 1} \cdot d\Phi \right] \cong \bar{A} \int_0^\Phi \frac{\operatorname{tg}\Phi}{\Phi} d\Phi \quad (\text{II-10})$$

Poslední výraz představuje funkci integráltangens řešitelnou řadou. Pro  $x$  limitující k  $\infty$  se úhel  $\Phi$  blíží k hodnotě  $\pi/2$ . Nalezený výsledek ovšem nepředstavuje příliš přehledné řešení.

Rozložení úhlů provázání na čele tkaniny podle rovnice (II-9) je znázorněno na obr.II-7.



Obr.II-7. Rozložení úhlů osnovních nití podle analytické metody.

Z obou uvedených způsobů řešení (numerického a analytického) je zřejmé, že **křivka rozložení úhlů resp. rozestupů na čele tkaniny je tím strmější, čím je větší součinitel tření.**

Součinitel tření se ovšem mění s rychlostí smýkání a je tedy vyšší při vyšší rychlosti tkaní (při vyšší tkací frekvenci a při větším zdvihu paprsku ve styku s čelem tkaniny- u těžších a více dostavených tkanin). Nelze však operovat jen s průměrnou hodnotou



součinitele tření odpovídající například průměrné přírazné rychlosti. Přírazná rychlost paprsku se během přírazného pulsu od paprsku mění a dochází tak i ke změně rychlosti smýkání útků. Podle teorie tkacího procesu [18] předpokládáme, že celý proces pohybu paprsku je harmonický průběh:  $z(t) = |Z| \sin(2\pi n/60) \cdot t$ ; přírazný puls má podobný tvar:  $Y(t) = |Y| \cdot \sin \omega_p \cdot t$ ;

$\omega_p = 2\pi/T_p$ ;  $\omega_p = 2\pi/\psi \cdot T_c = 2\pi \cdot n/60 \cdot \psi$ ;  $\psi$  je poměr doby trvání přírazu v celém tkacím cyklu. Přírazný puls se změní stroje, proto skluz útku je časově závislá funkce, tj.  $\xi = \xi(t)$ ;  $v_\xi(t) = d\xi/dt$ . V přední poloze paprsku prochází přírazná rychlost nulou. Paprsek se setkává s čelem tkaniny přibližně  $10 \div 20^\circ$  před přední úvratí. Na tkacím stroji s rychlostí  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$  a amplitudou zdvihu paprsku  $|Z| = 0,05 \text{ m}$ , přírazná rychlost kolísá mezi hodnotami 0 až 2 m/s. V tomto případě  $f = f(v, t)$  nelze pak zjistit rozložení úhlů i rozestupů pro útky pouze rovnicemi (II-4), (II-7), (II-8). Hrnutí útků při přírazu je závislé na čase a přírazné rychlosti a představuje dynamický proces. Rychlost smýkání se dále mění nejen z důvodu proměnlivé rychlosti přírazného pulsu od paprsku, ale také z důvodu postupného zpomalování až zastavování jednotlivých útků, když síly na ně působící dosáhly rovnovážného stavu. Je tedy třeba prošetřit vlivy na rozložení útků v případě proužce v *dynamický proces přírazu*.

Kinematická složka závisí navíc i na okamžité rychlosti  $d\xi / dt$  relativního posouvání útků po osnově. Předpokládejme při tom zjednodušeně, že při přírazu jsou osnovní nitě protaženy prakticky všude v přírazné proužce o téměř stejnou míru  $\eta$  (tj. o míru posuvu čela tkaniny- přední tkanina kontaktuje s paprskem). Nepatrné rozdíly mezi skutečnými průtahy osnovy  $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$  v místě jednotlivých vazných bodů 1, 2, ... nehrají podstatnou roli.

Rovnováha sil na libovolném  $k$ -tém útku na čele tkaniny při přírazu podle obr.II-8 je popsána vztahem.

$$F(x, t) - [F(x, t) - \Delta F(x, t)] - W(x, t) = 0 \quad (\text{II} - 11)$$

Zde  $F(x, t)$  je „rozpírací“ pružná síla překřížených osnovních nití mezi útky 1, 2, .... Překřížené osnovní nitě svým stříhacím účinkem útky od sebe odtlačují.

„Pružný“ odpor  $F(x, t)$ - rozpěrná síla překřížené osnovy proti stlačování útků k sobě během přírazu- je způsobován postupnými změnami úhlů v osnovních nitech při hnutí útků. „Rozpěrnou“ sílu  $F(x, t)$  lze vyjádřit podle obr.II-9. V závislosti na okamžitém rozestupu

$$A(x, t) = \bar{A} - \xi(x, t)$$

$$F(x, t) = V \cdot \cos \frac{\pi - \Phi(x, t)}{2} \equiv S \cdot [1 - \cos \Phi(x, t)] = S \cdot \left[ 1 - \frac{d_s^2 e_2 + \sqrt{A^4 - 4d_s^2 A^2 (1 - e_2^2)}}{A^2 + 4d_s^2 e_2^2} \right] \quad (\text{II} - 12)$$

Sílu  $S$  ve střednici osnovních nití považujeme prozatím za konstantní a rovnou tahu  $Q$  ve tkanině v podélném směru. Pro hodnoty zvlnění  $e_2 = 0 \div 1$  a pro rostoucí stlačení útků o míru  $\xi$  jsou úhly zvlnění nití  $\Phi$  a odpovídající rozpěrné síly  $F$  graficky zachyceny na obr.II-10.

Rozpěrná síla na  $k$ -tém útku v místě  $x$  a v čase  $t$  může být alespoň přibližně vyjádřena v lineárním tvaru. Pro vcelku malé hodnoty zvlnění ( v praxe běžně  $e_2 \leq 0,3$  ) lze napsat

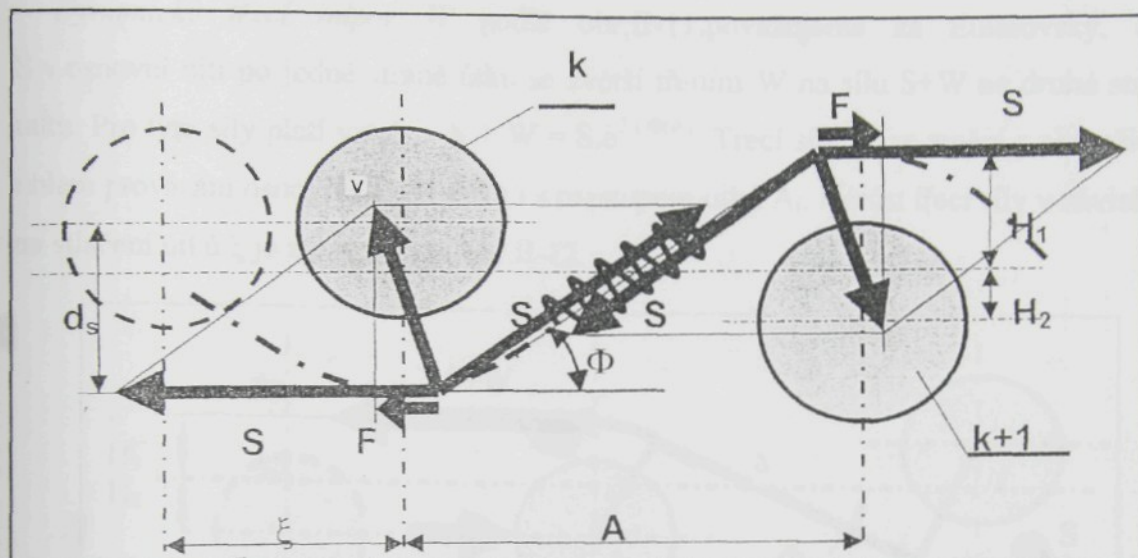
$$F(x, t) \cong F(\bar{A}, t) - \Delta F(x, t)$$

$$\Delta F(x, t) = \frac{dF(x, t)}{dA} \cdot \frac{dA}{dx} \cdot \Delta x \cong S \frac{-2 \left( \frac{d_s}{A} \right)^2}{\bar{A} \sqrt{1 - 4 \left( \frac{d_s}{A} \right)^2}} \cdot \frac{-\partial \xi(x, t)}{\partial x} \cdot \bar{A} = C \left( S, \frac{d_s}{A} \right) \frac{\partial \xi(x, t)}{\partial x} \quad (\text{II} - 13)$$

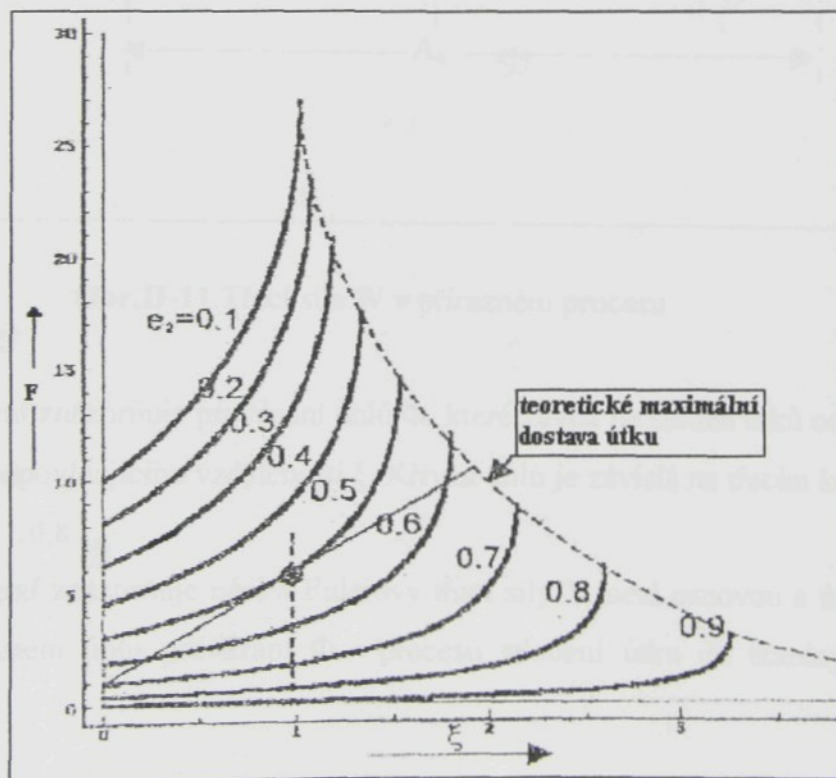


V tom  $C\left(S, \frac{d_s}{A}\right)$  představuje vlastně poměrnou pružnost náhradní rozpěrné zpruhy.

Pružnost závisí na napětí nití  $S$  v přírazné proužce a na základním zaplnění tkaniny útkem.



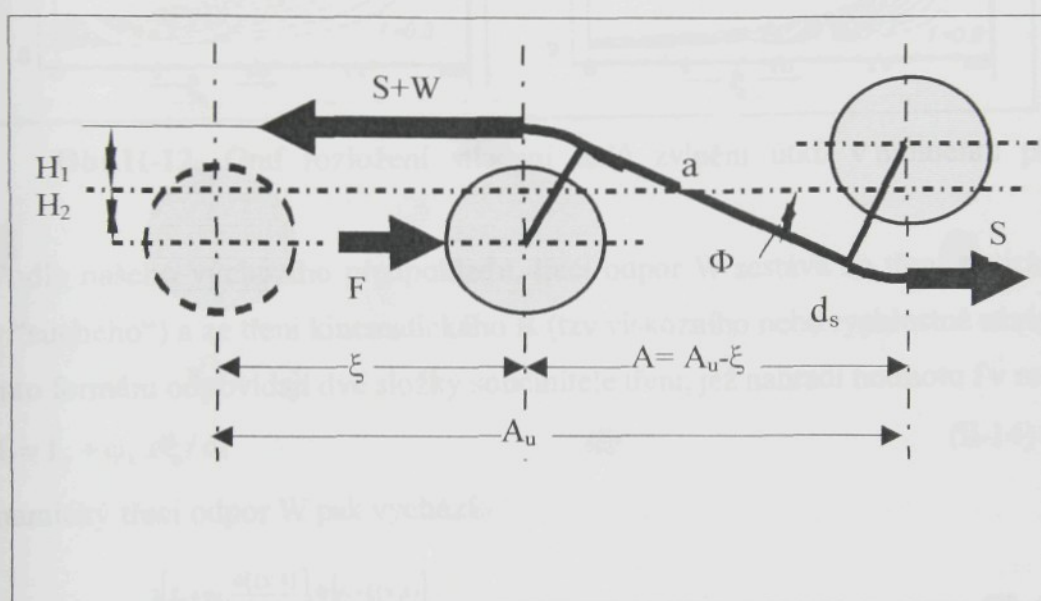
Obr. II-9. Rozložení síly na stlačeném útku.



Obr. II-10. Rozpěrné síly  $F$  osnovních nití způsobujících na útky

V momentu přírazu rozestupy útků  $A_i$  jsou stlačeny o různé míry  $\xi_i$  zmenšující se od čela tkaniny dovnitř tkaniny. „Stříhací“ efekt překřížených osnovních nití způsobuje vratné pohyby útků proti rozestupu. Čím je větší zvlnění, tím je větší „rozpěrná“ síla  $F$ ,  $e_2 = H_2/d_s$  a  $e_2 = 0 \div 1$ .

*Dynamický třecí odpor  $W$*  podle obr.II-11.považujeme za Eulerovský. Síla  $S$  v osnovní nitě po jedné straně útku se zvětší třením  $W$  na sílu  $S+W$  na druhé straně útku. Pro tyto síly platí vztah :  $S + W = S \cdot e^{2 \cdot f \cdot \Phi(A)}$ . Třecí síla  $W$  se změní s okamžitým úhlem provázání osnovních nití a tím i s rozstupem útků  $A_i$ . Nárůst třecí síly v závislosti na stlačení útků  $\xi$  je zakreslen na obr.II-12.

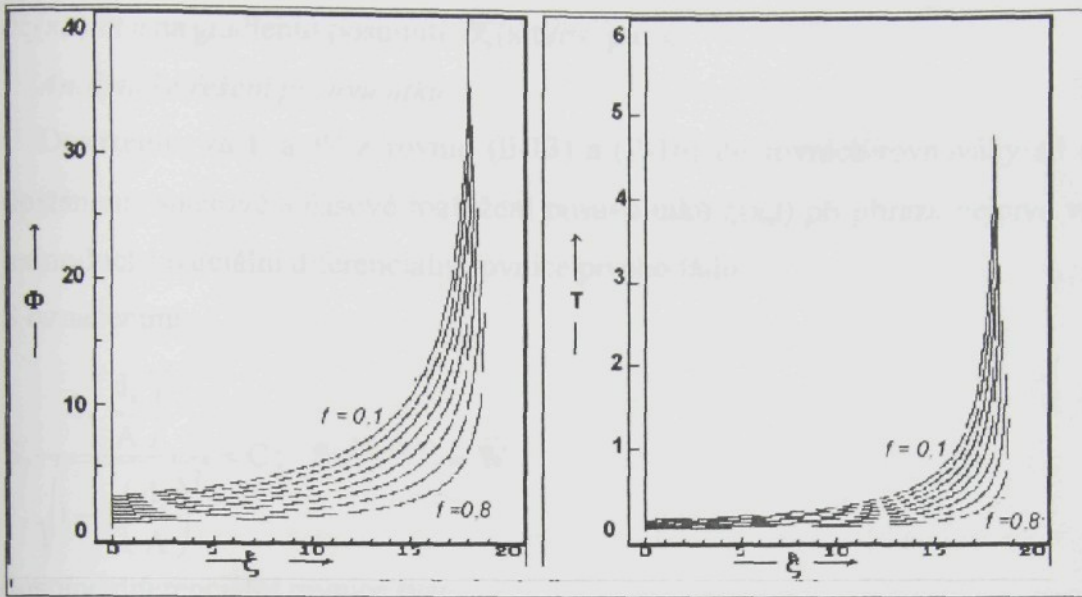


**Obr.II-11.** Třecí síla  $W$  v přírazném procesu

Levý graf znázorňuje provázání úhlů  $\Phi$ , které závisí na skluzu útků od standardního rozestupu odpovídajícího vzdálenosti  $\xi$ . Křivka úhlu je závislá na třecím koeficientu  $f = 0,1; 0,2 \dots 0,8$ .

Pravý graf znázorňuje nárůst Eulerovy třecí síly  $T$  mezi osnovou a útkem, který je působen růstem úhlu provázání  $\Phi$  v procesu stlačení útku do tkaniny v přírazném procesu.





**Obr.II-12.** Graf rozložení stlačení úhlů zvlnění útků v momentu přírazu.

Podle našeho výchozího předpokladu, třecí odpor  $W$  sestává ze tření statického  $T$  (tzv. „suchého“) a ze tření kinematického  $R$  (tzv. viskózního nebo rychlostně závislého). Těmto formám odpovídají dvě složky součinitele tření, jež nahradí hodnotu  $f$  v rovnici:

$$f = f_s + \varphi_k \cdot d\xi / dt \quad (\text{II-14})$$

Dynamický třecí odpor  $W$  pak vychází

$$W(x, t) = S \cdot e^{2 \left[ f_s + \varphi_k \cdot \frac{d\xi(x, t)}{dt} \right] \Phi[A - \xi(x, t)]} \quad (\text{II-15})$$

Odpor  $W(x, t)$  můžeme opět nahradit přibližnými lineárními průběhy v okolí standardního úhlu zvlnění útků  $\Phi(A)$  a v okolí základního statického součinitele tření  $f_s$ :

$$\begin{aligned} W(x, t) &= W(0) + \frac{\partial W(x, t)}{\partial f} \cdot \Delta f(x, t) + \frac{\partial W(x, t)}{\partial \Phi} \cdot \frac{d\Phi}{dA} \cdot \frac{dA}{dx} \cdot \frac{d\xi}{dx} \cdot \Delta x \\ &= S \cdot e^{2 f_s \cdot \Phi(A)} \cdot \left\{ 1 + 2 \cdot \varphi_k \cdot \frac{\partial \xi(x, t)}{\partial t} - 2 \cdot f_s \cdot \frac{-2 \left( \frac{d_s}{A} \right)^2}{\bar{A} \cdot \sqrt{1 - 4 \left( \frac{d_s}{A} \right)^2}} \cdot \frac{-\partial \xi(x, t)}{\partial x} \cdot \bar{A} \right\} \quad (\text{II-16}) \end{aligned}$$

Vidíme z relace (II-16), že odpor  $W$  závisí na místní rychlosti posuvu útků  $V_{(\xi)} = \partial \xi(x,t)/\partial t$  a na gradientu posunutí  $\partial \xi(x,t)/\partial x$  pro  $x$ .

*Analytické řešení posuvu útků:*

Dosazením za  $F$  a  $W$  z rovnic (II-13) a (II-16) do rovnice rovnováhy sil (II-11), dostaneme směrové a časové rozložení posuvu útků  $\xi(x,t)$  při přírazu nejprve ve tvaru jednoduché parciální diferenciální rovnice prvního řádu.

S označeními:

$$S \cdot \frac{2 \cdot \left( \frac{d_s}{A} \right)^2}{\sqrt{1 - 4 \cdot \left( \frac{d_s}{A} \right)^2}} = C; \quad S e^{2f_s \cdot \Phi(A)} = \bar{W} \quad (II-20)$$

dostane diferenciální rovnice tvar

$$C \cdot A \cdot \left( 1 + 2f_s \cdot \frac{\bar{W}}{S} \right) \cdot \frac{\partial \xi(x,t)}{\partial x} - 2 \cdot \varphi_k \cdot \bar{W} \cdot \frac{\partial \xi(x,t)}{\partial t} = \bar{W} \quad (II-17)$$

Konkrétní řešení této rovnice závisí na okrajových podmínkách rozložení útků odpovídajících zkoumané situaci na stavu a poskytuje příslušný časový průběh hrnutí útků během přírazu.

Znáznorněme skluz útků  $\xi(x)$  odpovídající libovolnému příraznému pulsu  $y(t)$ . Polohy  $x$  na čele tkaniny jsou násobkem standardního rozestupu útků  $x = n \cdot \bar{A}$

$$\text{Pro důvod lepší přehlednosti označme: } w = \frac{\bar{W}}{C(1 - 2f_s \cdot \frac{\bar{W}}{S})}$$

Pak rovnice dostává v formu :

$$\frac{\partial \xi(x,t)}{\partial x} + 2\varphi_k \cdot w \cdot \frac{\partial \xi(x,t)}{\partial t} = w \quad (II-18)$$

V této diferenciální rovnici lze odezvy skluzu útků  $\xi$  na přírazný puls  $y(t)$  vyjádřit ve formě Laplaceova operátoru [47]:

$$\xi(x,t) \rightarrow \xi(x,p) = L\{\xi(x,t)\}; \quad d\xi(x,t)/dt \rightarrow p \cdot \xi(x,p) - \xi(x,0).$$

Dostaneme pak diferenciální rovnici prvního řádu:



$$\frac{d\xi(x, p)}{dx} + 2 \cdot \varphi_k \cdot w \cdot [p \cdot \xi(x, p) - \xi(x, 0)] = \frac{w}{p} \quad (\text{II} - 19)$$

Řešení této rovnice provedeme pro počáteční podmínku danou reziduálním skluzem útků  $-\xi(x, 0) \equiv -\xi_0 \cdot e^{-k \cdot x}$  z jejich standardní polohy na čele tkaniny po předchozím přírazu (posuv útku ven z čela tkaniny se zobrazuje ve formě) Integrováním rovnice (II-19) dostaneme nový skluz útku do tkaniny při přírazu:

$$\xi(x, p) = C(p) \cdot e^{-p \cdot T \cdot k \cdot x} + \frac{1}{2 \cdot \varphi_k} \cdot \frac{1}{p^2} - \xi_0 \cdot \frac{T}{1 + p \cdot T} \cdot e^{-(k + p \cdot T) \cdot x} \quad (\text{II} - 20)$$

Zde velikost  $T = 2 \cdot \varphi_k \cdot w / k$  můžeme považovat za časovou konstantu pro nucený pohyb  $-\xi(x, p)$  útku vytlačeného ven z tkaniny po přírazném procesu (stále psáno v operátorové formě).

V procesu vtlačování útku do tkaniny  $+\xi(x, p)$  vznikne integrální konstanta  $C(p)$ , kterou najdeme z okrajové podmínky na čele tkaniny. Vidíme, že posuv čela tkaniny se rovná zdvihu paprsku v momentu přírazu  $+\xi(x=0, p) \equiv y(p)$ .

Operátorovou rovnici (II-20) přepíšme nyní do původního tvaru závislého na čase. Dostaneme časové odezvy skluzu útků do tkaniny na polohách  $x$ .

$$\xi(x, t) = y(t - T \cdot k \cdot x) - w \cdot k \cdot x - \xi_0 (e^{+k \cdot x} - 1) \cdot e^{-t/T} \quad (\text{II} - 21)$$

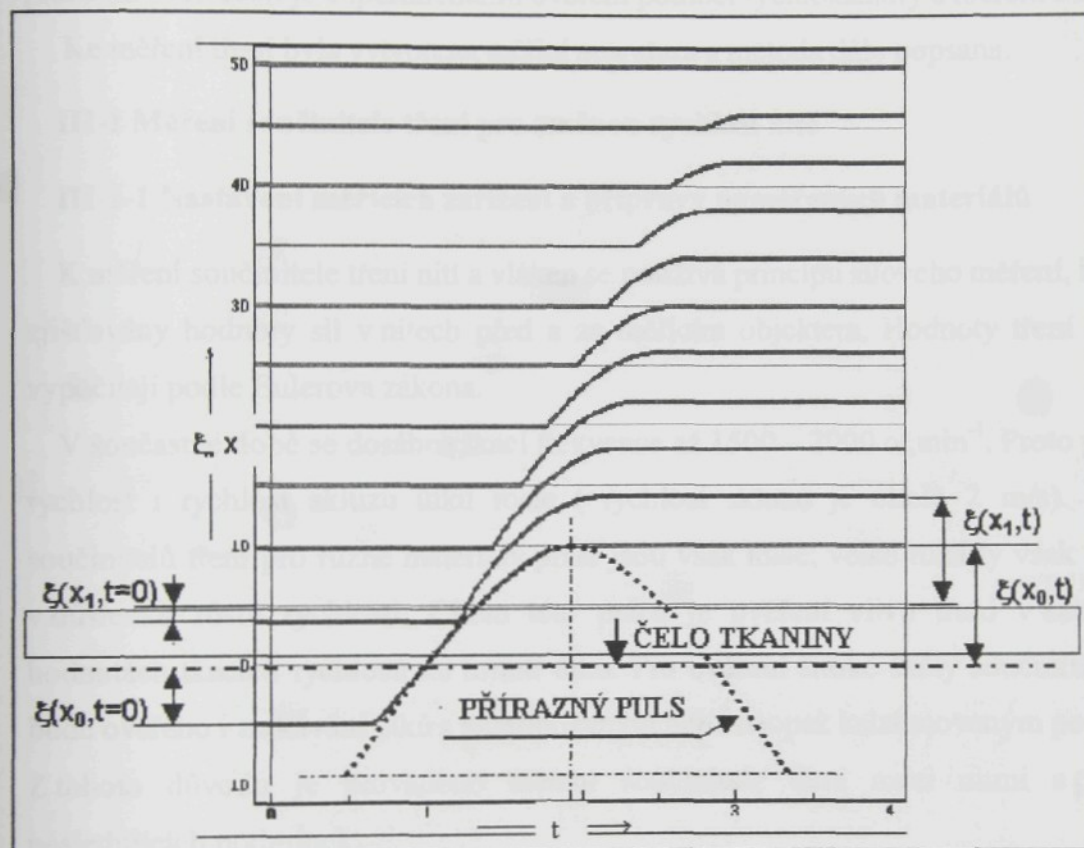
Uvnitř tkaniny ( v hluboce  $x$  ) skluzu  $\xi(x, t)$  jednotlivých útků se postupně mění a zpožďují. Čím útek je hlubší, tím skluz útku je menší. Pokud útky dosáhnou vrcholu svého pohybu, pohyby útků se zastaví. Posuvy hlouběji ležících útků postupují ještě s vyššími časovými zpožděními  $-T \cdot k \cdot x$  podle přírazného pulsu a amplitudy odezvy.

$$\text{Skluz } |\xi| = |y| - w \cdot k \cdot x - \xi_0 (e^{+k \cdot x} - 1) \quad (\text{II} - 22)$$

se pak postupně snižuje:

*Stlačování útků do tkaniny probíhá jako postupně se snižující a zpomalující vlnovité vlnění pro posunutí individuálních útků mezi osnovami. Tento pohyb zanikne pro útek ležící hluboko ve tkanině ( daleko od čela tkaniny) a viz. obr.II-13.*

Na obrázku II-13 vidíme, že jednotlivá křivky skluzu útku v procesu posunutí do tkaniny nejsou spojité ( trvalé zastavení a potom náhlé klouzání ). To je výsledek předpokládaného nespojitého modelu tření, kde hodnota posuvné rychlosti mění krokově z klidu bez jakékoliv přechodové části. Je zřejmé, že ostrá nespojitost není ve skutečnosti možná. To však ještě nemohlo být potvrzeno ani vyvráceno.



Obr.II-13. Fáze pohybu útků ve formovací zóně při přírazu.



### **III. Měření dynamických součinitelů tření pro analýzu skutečných pohybů útků při přírazu.**

V předchozích statích byl vyřešen teoreticky možný pohyb útků do tkaniny a ven z tkaniny v průběhu přírazu. Ke konkrétnějšímu zhodnocení těchto pohybů je ovšem třeba znát přesněji skutečné hodnoty rychlostně závislého tření. Zjištění těchto hodnot měřením pro různé typy útků různě připravených bylo jednou z dvou hlavních částí práce (druhou částí je experimentální ověření pomocí rychlokamery a měření na stavu).

Ke měření tření byla vytvořena měřicí aparatura a metoda dále popsaná.

#### **III-1 Měření součinitele tření pro změnu rychlost nitě**

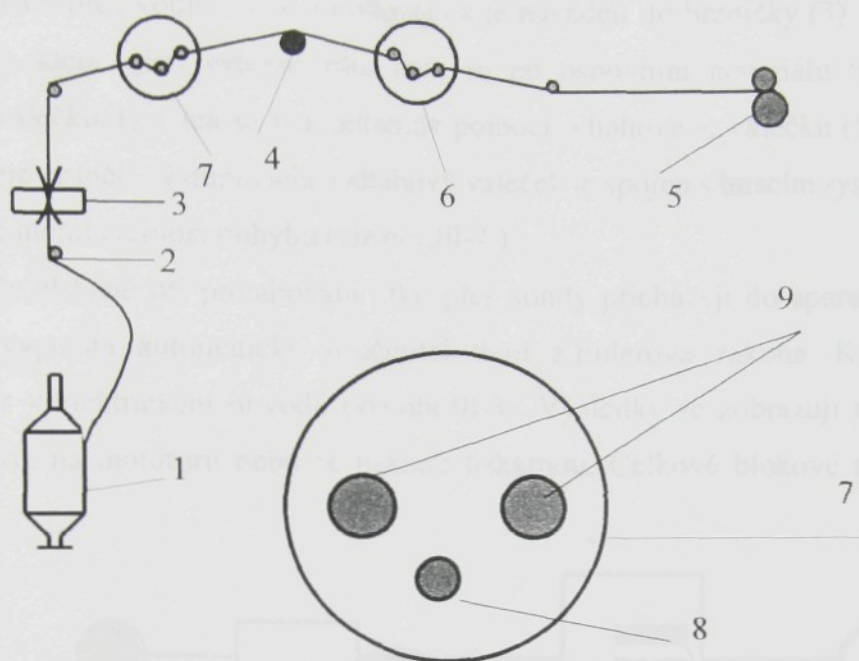
##### **III-1-1 Nastavení měřících zařízení a přípravy naměřených materiálů**

K měření součinitele tření nití a vláken se používá principu sílového měření, kde jsou zjišťovány hodnoty sil v nitech před a za měřícím objektem. Hodnoty tření se pak vypočítají podle Eulerova zákona.

V současné době se dosáhne tkací frekvence až  $1500 - 2000 \text{ ot.min}^{-1}$ . Proto přírazná rychlost i rychlost skluzu útku roste ( rychlost skluzu je okolo  $2 \text{ m/s}$ ). Rozdíly součinitelů tření pro různé materiály příze jsou však malé; velké rozdíly však vznikají v důsledku růstu rychlosti. Cílem této práce je ověření vlivu tření v extrémních hodnotách tkacích rychlostí na hrnutí útků. Pro ověření široké škály součinitelů tření bude ověřeno i zatkávání útků s parafinovaným nebo naopak kalafunovaným povrchem. Z tohoto důvodu je prováděno měření součinitele tření mezi nitmi s použitím následujících podmínek:

- pohybové rychlosti útku v rozsahu 0 až  $2 \text{ m/s}$ ..
- různé materiály se změněnými vlastnostmi povrchu.

Pro měření bude užito aparatury sestavené v laboratoři KME- TU Liberec. Proces měření je naznačen na obr. III-1a, III-1b.



**Obr.III-1a.** Schéma pohybu útku při měření součinitele tření.

zde : 1- útková cívka

2- vodící očko

3- jehličková brzdička

4- váleček, na kterém se navine referenční osnova.

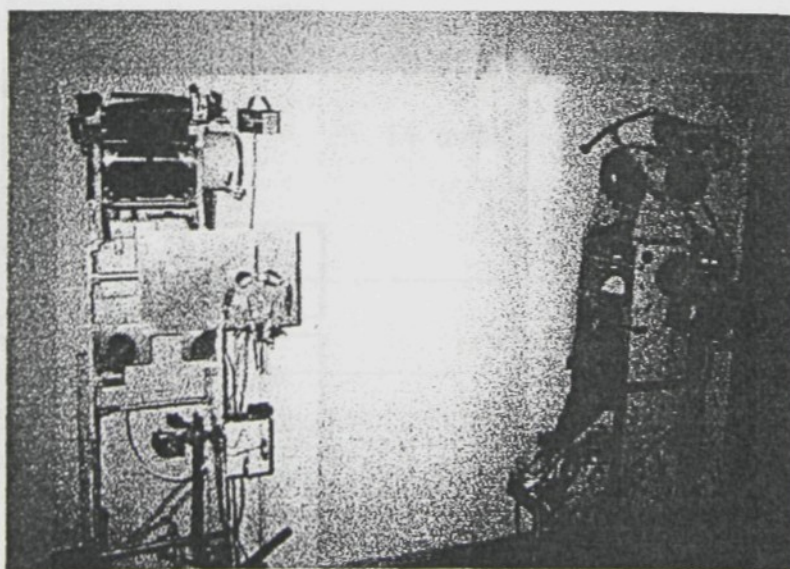
9- pevný kolík vodící

5- odtahový váleček

6- výstupní sonda

7- vstupní sonda

8- pohyblivý měřicí kolík

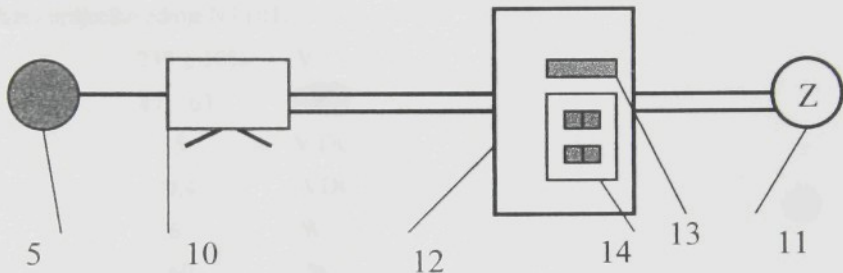


**Obr.III-1b.** Snímka měřícího zařízení součinitele tření nití



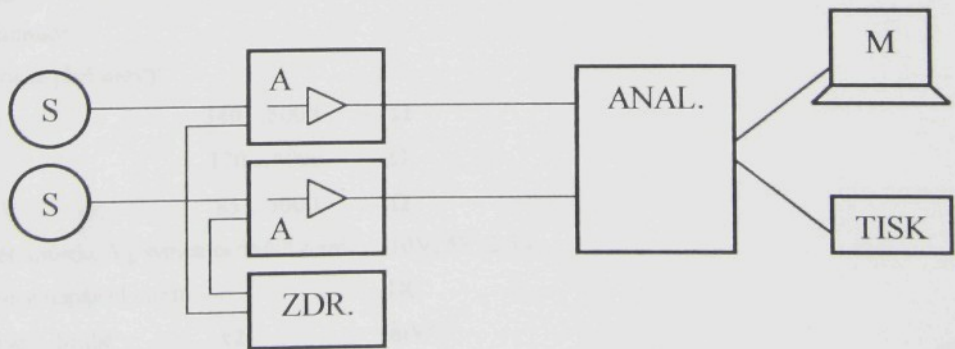
Útek pochází přes vodící očko z cívky (1) a je naveden do brzdíčky (3). Po průchodu sondou(7), která zjistí vstupní sílu, útek se po osnovním materiálu navinutém na povrchu válečku(4). Útek se pak odtahuje pomocí odtahového válečku (5) přes sondu (6), na které se měří výstupní síla. Odtahový váleček je spojen s hnacím systémem, který umožňuje měnit rychlost pohybu (viz.obr.III-2 ).

Signály získané při protahování útku přes sondy přicházejí do aparatury, která je zesílí a vypočítá automaticky součinitel tření z Eulerova zákona. K tomu slouží analyzátor v elektrickém obvodu (viz.obr.III-3). Výsledky se zobrazují na obrazovce analyzátoru, na monitoru nebo se tisknou tiskárnou. Celkové blokové schéma je na obr.III-2.



Obr.III-2. Schéma pohonu

- kde :
- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 5- tahový valeček  | 12- frekvenční měnič  |
| 10- motor          | 13- digitální displej |
| 11- napájecí zdroj | 14- ovládací panel    |



Obr.III-3. Měřicí elektrický obvod

Na obr.III-3 jsou :

S- sondy typu RFS3-0-L9H, No.19 a No.20

A- aparatura typu AE101

ZDR.- napájecí zdroj typu NT101

ANAL.- analyzátor typu HP 35670A

M- monitor

TISK- tiskárna

### III-1-1-1 Napájecí zdroj NT101 a aparatura AE101

(parametry jsou převzaty v návodu k použití- firma Hottinger Baldwin Messtechnik).

a) Technická data napájecího zdroje NT101.

|                        |                      |                   |
|------------------------|----------------------|-------------------|
| Vstupní napětí         | 230 ± 10%            | V                 |
| Frekvence sítě         | 47...63              | Hz                |
| Výstupní napětí        | 15                   | V DC              |
| Výstupní proud         | 0,4                  | A DC              |
| Výstupní výkon         | 6                    | W                 |
| Účinnost               | 60                   | %                 |
| Proudové omezení       | 1,3 x I <sub>n</sub> |                   |
| Zvlnění                | ≤ 2                  | mV <sub>ss</sub>  |
| Teplota okolí          | -20...+60            | °C                |
| Teplota transformátoru | 150                  | °C                |
| Izolační napětí        | 3,75(prim./sek.)     | kV <sub>eff</sub> |
| Krytí                  | IP20                 |                   |
| Váha                   | 420                  | g.                |

b) Technická data aparatury AE101:

Třída přesnosti 0,1

Připojitelné snímače:

Tenzometrické plné mosty:

|                       |            |   |
|-----------------------|------------|---|
| V <sub>E</sub> = 10V  | 340...5000 | Ω |
| V <sub>E</sub> = 5V   | 170...5000 | Ω |
| V <sub>E</sub> = 2,5V | 85...5000  | Ω |

Napájecí napětí můstku V<sub>E</sub> symetrické vůči zemi 10V; 5V; 2,5V

Nosná frekvence napájení mostu DC

|                                     |         |      |
|-------------------------------------|---------|------|
| Rozsah nulování: hrubě              | ±2      | mV/V |
| Jemně                               | ±0,08   | mV/V |
| Měřicí rozsah: V <sub>E</sub> = 10V | 0,1...2 | mV/V |
| V <sub>E</sub> = 5V                 | 0,2...4 | mV/V |
| V <sub>E</sub> = 2,5V               | 0,4...8 | mV/V |



|                                                               |                           |                 |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Kalibrační signál (přičten k měřicímu signálu)                | $+0,2 \pm 1\%$            | mV/V            |
| Max. součtové napětí                                          | $\pm 10V$                 | V <sub>ss</sub> |
| Vstupní impedance                                             | $> 10M\Omega/2\text{ nF}$ |                 |
| Potlačení součtového napětí: 0...300Hz                        | $> 100$                   | dB              |
|                                                               | $> 300\text{ Hz}$         | $> 85$ dB       |
| Nelinearita                                                   | $< 0.05$                  | %               |
| Výstupní napětí                                               | $\pm 10V$                 |                 |
| Rychlost přeběhu                                              | 0,4                       | V/ $\mu$ s      |
| Přípustná zátěž                                               | $\geq 4$                  | k $\Omega$      |
| Vnitřní odpor                                                 | $< 2$                     | $\Omega$        |
| Měřicí frekvenční rozsah:                                     |                           |                 |
| Dolní propust třetího řádu přepínatelná                       | 0...10                    | Hz (-1dB)       |
| Typ Bessel                                                    | 0...6                     | Hz (-1 dB)      |
| Fázové zpoždění: s filtrem 0...10Hz                           | $< 18$                    | ms              |
|                                                               | 0...6kHz                  | $< 20$ $\mu$ s  |
| Čas náběhu: s filtrem 0...10Hz                                | 22                        | ms              |
|                                                               | 0...6kHz                  | 150 $\mu$ s     |
| Překmit při skokové změně: s filtrem 0...10Hz                 | 0                         | %               |
|                                                               | 0...6kHz                  | $< 10$ %        |
| Šumavé napětí pro měřicí rozsah:                              |                           |                 |
|                                                               | 0,2mV/V (10Hz)            | $< 4$ mVrms     |
|                                                               | 2mV/V (10Hz)              | $< 4$ mVrms     |
|                                                               | 0.2mV/V (6kHz)            | $< 30$ mVrms    |
|                                                               | 2 mV/V (6 kHz)            | $< 6$ mVrms     |
| Dlouhodobý drift přes 48h ( hodinu po zapnutí)                | $< 0.2$                   | $\mu$ V/V       |
| Vliv změny teploty okolí o 10K na citlivost:                  | $< 0.1$                   | %               |
| na nulu : měřicí rozsah 0,2mV/V                               | $< 60$                    | mV              |
| měřicí rozsah 2mV/V                                           | $< 10$                    | mV              |
| Vliv změny napájecího napětí v rozsahu +15...26V na citlivost | $< 1$                     | mV              |
| Pracovní napájecí napětí                                      | +15...26V                 | DC              |
| Odběr proudu                                                  | $\leq 125$                | mA              |
| Jmenovitý teplotní rozsah                                     | -20...+60                 | °C              |
| Teplotní rozsah použití                                       | -20...+60                 | °C              |
| Skladovací teplotní rozsah                                    | -25...+70                 | °C              |
| Krytí podle DIN IEC 60 529                                    | IP20                      |                 |
| Váha                                                          | 200                       | g               |

### III-1-1-2 Měření se sondami VÚTS.

Při měření tahové síly byly použity dvě sondy vyrobené firmou VÚTS-Liberec ( typy TFS 3-0-L9H, No.19 a No. 20 napájené stejnoměrným napětím 5 V).

*Princip sondy.*

Měřená nit' prochází sondou mezi třemi safírovými kolíky. Prostřední kolík je dutý a je upevněn na nosníku. Dutý nosník zvýší vlastní frekvenci a zlepši odvod tepla vzniklého třením. Měřená nit' působí na střední kolík silou a tím dochází k deformaci povrchových vláken nosníku. Tato deformace je měřena můstkem tvořeným ze čtyř tenzometrů zapojených. Výstupní napětí z můstku bylo přenášeno přes aparaturu, potom do analyzátoru a dále zpracováno.

#### Cejchování sond.

Cejchování sond je manipulace předváděná před měřením pro různé materiály. Cílem je zjištění hodnoty měřítka, aby zajistilo přesnost měřených výsledků.

Pro každou měřenou nit musely být ocejchovány obě sondy, tj. musely být zjištěny cejchovní konstanty. Cejchování probíhalo tak, že měřená nit byla protahována rovnoměrnou rychlostí sondou ve směru, jakým se pohybuje při měření. Na niti bylo upevněno závaží (10g), čímž se přesně definovala síla v niti ( $m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ mN}$ ). V analyzátoru se pak odečetlo vyvolané napětí a trojčlenkou vypočetla příslušná konstanta v [V/EU].

#### Nastavování nuly

Před každým měřením se pro zvýšení přesnosti naměřených hodnot mechanicky nastavila pomocí jednoduchého přípravku nulová hladina, tímto působením se odstranila hystereze ve měřicím systému. Nastavování nuly probíhalo tak, že přize se sejmula u obou sond asi na 5 sekund z dutého kolíku (v té době neměřilo), na jakémkoliv místě (obvyklé je místo s střední hodnotou) bylo zjištěno nastavování nuly. Přesná nula se pak zadala do analyzátoru pomocí konstant  $K_1$ ,  $K_2$ .

Technická data napěťové sílové sondy: Typ TFS 3-0-L9H, No.19 a No.20.

Polovodič napěťové měřiče A4P035AB1000, 4mm x 0,255mm, 1000  $\Omega$ , měřicí činitel 104.

Materiál: Aluminium WL3.1354T351 (2024-T315).

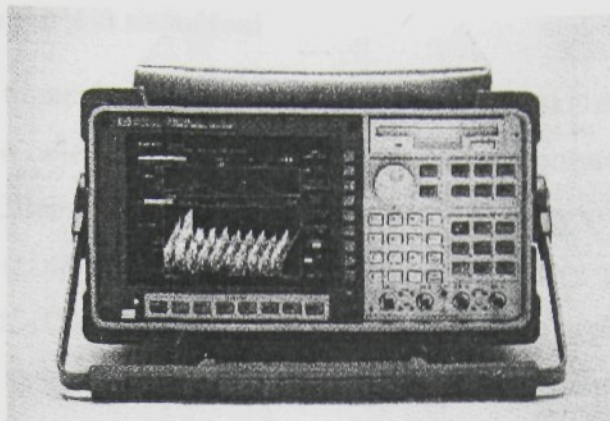
|                          | No.19               | No.20               |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Sílové omezení:          |                     |                     |
| Nom.:                    | 200 cN              | 200 cN              |
| Max.:                    | 300 cN              | 300 cN              |
| Statická citlivost:      | 5,20 mV/1V/235,4 cN | 4,96 mV/1V/235,4 cN |
| Amplituda nelineárnosti: | $\pm 0,14\%$        | $\pm 0,18\%$        |
| Hystereze:               | $\pm 0,12\%$        | $\pm 0,14\%$        |
| Rezonantní frekvence:    | 7106 Hz             | 7259 Hz             |
| Vstupní odpor:           | 863 $\Omega$        | 869 $\Omega$        |
| Výstupní odpor:          | 863 $\Omega$        | 868 $\Omega$        |

Napájecí napětí: 2 až 8,5 V (12V stejnoměrné napětí Max.), optimální konstantní proud 5 mA!

### III-1-1-3 Dynamický signální analyzátor HP 35670A.

Byl použit pro měření a následné zpracování naměřených hodnot. Jedná se o přenosný přístroj ve čtyřkanálové verzi [48], který díky své koncepci dokáže nahradit několik různých přístrojů. Je řešen jako přenosný, a proto ideální pro měření v terénu. Přitom je však jeho vysoké parametry umožňují využívat i pro aplikace ve vývoji a výzkumu. Doplnkové vybavení umožňuje používat přístroj pro diagnostiku a odstraňování závad týkajících se mechanických vibrací a hluku, nebo pro obecné spektrální a obvodové analýzy.





Základní technické parametry :

- napájecí napětí 220 nebo 12 až 28 V
- kmitočtový rozsah : 102,4 kHz 1 kanál.  
51,2 kHz 2 kanály  
25,6 kHz 4 kanály
- dynamický rozsah : 90 dB
- shodnost kanálů :  $\pm 0,04$  dB;  $\pm 0,5$  stupňů
- rozlišení : 100, 200, 400, 800 čar
- časový záznam : 0,8- 5 Mega vzorků
- rozsahy vstupů : max. 31,7 V
- typy zdrojů : - nahodilý, rázový nahodilý
  - periodický
  - rozmítaný růžový šum
  - sinus, rozmítaný sinus
- interface : HP- IB ; paralelní ; RS- 232 sériový
- ukládání dat : zabudovaná 3,5"- 1,44 Mbytová disketová jednotka; 64 Kb NVRAM disk
- matematické funkce : výkonné matematické funkce a editační funkce pro rychlou modifikaci naměřených výsledků (derivate, integrál, FFT, filtry...).

### III-1-1-4 Frekvenční měnič.

Změnami frekvencí měniče může být změnit rychlost tahového valečku i pohybu útku. Používáme se při měření frekvenčního měniče: Typ T-VERTER, model K1-201-M.

Základní parametry frekvenčního měniče:

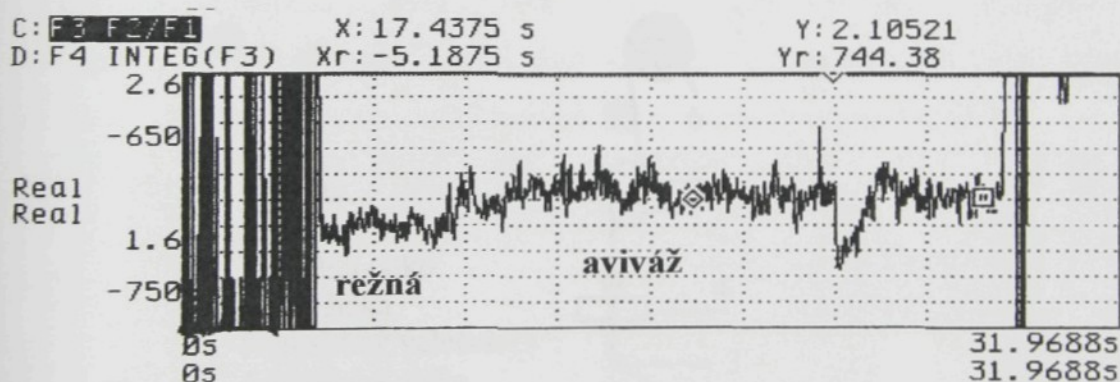
- Vstupní napětí: 200 až 230 V
- Vstupní frekvence : 50/ 60 Hz
- Vstupní fáze : 1 nebo 3
- Výstupní napětí : 200 až 230 V
- Výstupní frekvence : 1 až 180 Hz
- Výstupní fáze : 3
- Výkon : 1,7 KVA; 4,5 AMPS

### III-1-1-5 Příprava materiálů na měření

Měření koeficientu tření mezi nitmi ve rychlostní závislosti na skluzu bylo pro účely této práce útků provedeno nejen pro tradičně čisté příze (bavlna, polyester...), ale i pro příze účelově upravené. Cílem bylo najít takové prostředky, který by výrazně zvýšily či snížily koeficient tření rezné příze, aby bylo možno ověřit vlivy povrchů nití na součinitel tření. Toho se dosáhlo použitím různých nánosů na povrchu příze. Problémem byla obtížnost nanášení apretace na delší úsek a současně zachování stejnoměrnosti nánosu, tak aby to umožnilo měření součinitele tření s malou chybou. Proces výběru materiálů nánosů se prováděl ve laboratoři KME – Technické univerzity Liberce s následujícími výsledky:

A- Zkoušení úprav k snižování koeficientu tření pro bavlněnou přízi:

- 1- *Avivážní prostředek*: byla použita koncentrovaná komerční aviváž ředěná v poměru 1:1 s vodou, výsledek nebyl výhodný (koeficient je větší o 5% než u rezné příze).



Obr.III-4. Změna součinitele tření f pomocí aviváže

- 2- *Silikonový olej*: silikony se ukázaly být dobrou cestou ke snížení tření, však konečné měření nebyly využity pro obtíže při nanášení a pro nedostatek přípravku, navíc bylo těžké zachovat stejnoměrnost na povrchu nitě.
- 3- *Parafin*: parafinovaná příze byla získána přímo z textilního závodu. Při měření koeficientu tření se však tato úprava téměř neprojevila. Nános je nehomogenní, protože parafin se vždy nanese jen asi na polovinu obvodu příze. Ve školní laboratoři byla tato nehomogennost zlepšena tím, že se příze několikrát



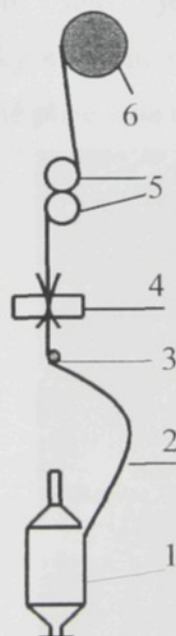
přesoukala přes dva válečky parafinu. Tato úprava byla používána při měřicím procesu.



Obr.III-5. Změna součinitele tření  $f$  pro silikonový olej

Schéma příze parafinované na soukacím stroji

- 1- cívka
- 2- nit
- 3- vodící očko
- 4- brzdička
- 5- voskový valeček
- 6- soukaná cívka



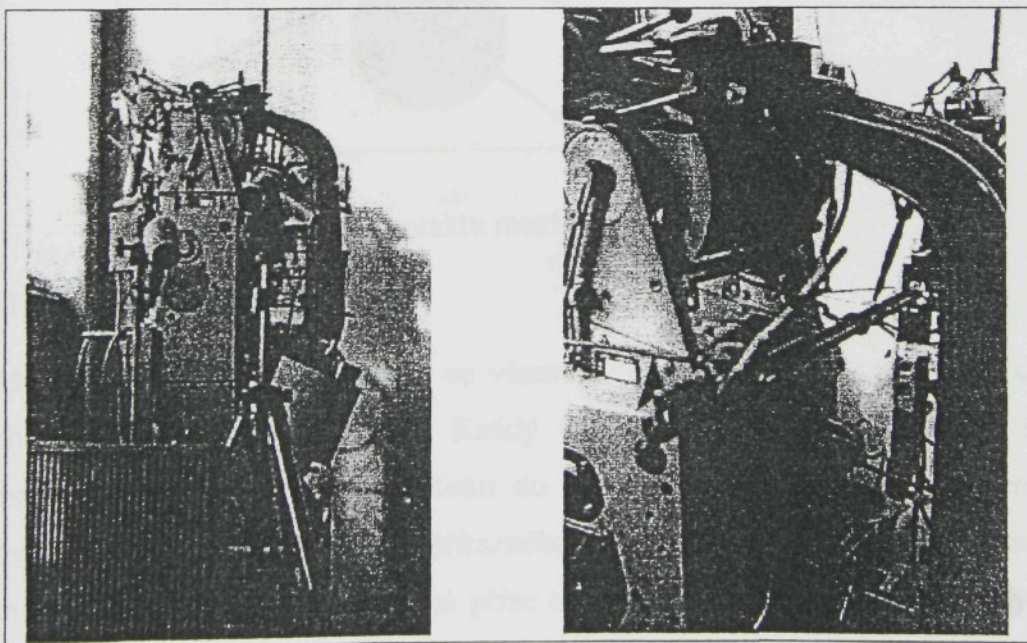
Obr.III-6. Schéma příze parafinované na soukacím stroji

B- Zkoušení úprav k zvýšení koeficientu tření pro reznou bavlněnou přízi:

1- *Tekuté řetězy*: tento komerční adhezni přípravek na bázi pryskyřice byl ředěn toluenem v poměr 1: 20, 1: 50, 1: 100.

Získané hodnoty tření se výrazně zvýšily, ale z pracovních důvodů se nakonec od této úpravy upustilo.

- 2- *Impregnace na textil a stany*: tato úprava neměla na tření žádný vliv.
- 3- *Vodoodpudivá ochrana na kůži s přídavkem včelího vosku*: tato úprava rovněž znatelně zvýšila tření příze. I po důkladném usušení ale úplně nezaschla a povrch příze mírně lepil. To se projevilo ulpíváním vosku na příčné niti při měření  $f$ , což zcela znemožnilo objektivitu měření.
- 4- *Kalafuna*: tato byla roztlučena na prášek a ředěna technickým lihem v různých koncentracích- 1%, 1,5%, 3%, 5%, 10%. Při měření bylo používáno 3 koncentrace 1%, 1,5%, 3%. Příze se odvíjela ze soukací jednotky a přes brzdičku a vodící očka byla navedena do dlouhého korýtku s roztokem. Dráha příze v korýtku a její dostatečné ponoření zajišťovala opět vodící očka připevněná ke dnu korýtku. Vymačkávání přebytečné tekutiny zajišťovaly štětečky a plst'. Dále byla příze vedena 3m dlouhým sušícím polem, kde byla ofukována horkým vzduchem z fénů a topení. Sušící pole bylo zakončeno další soukací jednotkou, na které se již navíjela upravená příze. Pohon této jednotky byl připojen k digitálnímu frekvenčnímu měniči, díky kterému se mohla zajistit velmi pomalá soukací rychlost. Příprava kalafunované příze byla uvedena na obr.III-7.



**Obr.III-7.** Zařízení na nanášení roztoku kalafuny

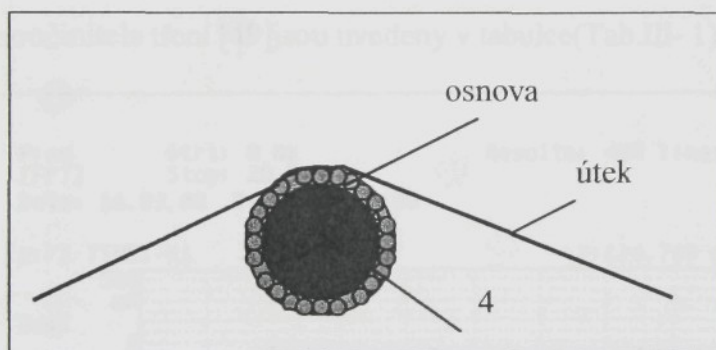


Připravené útkové příze byly při měření součinitele rychlostně závislého tření používány v této práci:

- Polyester TDTEX 110F36X1.
- Režná bavlna 10Tex, režná bavlna 25Tex x 2.
- Bavlna 10Tex parafinovaná, bavlna (25Tex x 2) parafinovaná.
- Bavlna 10Tex s kalafunou 1,5%, bavlna (25Tex x 2) s kalafunou 1% a 3%.

### III-1-1-6 Příprava osnovních nití

Jako referenční osnovní nit byla používána šlichtovaná bavlna 25Tex. Referenční nit byla nahrazena válečkem o průměru 1 cm, na jehož povrch byly pomocí oboustranně lepicí pásky nalepeny těsně vedle sebe úseky osnovní příze. Tímto způsobem, který se velice osvědčil, se celý proces zrovnoměnil. Váleček se dal při každém novém měření posunout, aby se příze třela vždy o čistý usek osnovy bez jakýchkoli starých nánosů úprav, které by mohly ovlivnit výsledky.



**Obr.III-8.** Schéma kontaktu mezi osnovou a útkem

### III-1-2 Měření součinitel tření

Další fáze experimentu spočívala ve vlastním měření přírůstku tahových sil, ze kterých se odvodil koeficient tření. Každý vzorek bylo třeba proměřit pro různé rychlosti, protože i při zatlačování útku do tkaniny se rychlost mění. Ve vrcholu sinusovky odpovídající zhruba tvaru přírazného pulsu je rychlost největší. Na začátku každého měření byla příslušná měřená příze ocejchována a cejchovní konstanty byly uloženy do paměti analyzátoru.

Proces měření byl prováděn v následujících podmínkách:

- Rychlosti byly změněny v rozsahu 0,01 - 2 m/s.

- Zaměřené útky : rezná bavlna 10 Tex, bavlna 25 Tex x 2, parafinovaná bavlna, kalafunovaná bavlna 10 Tex s koncentrací 1,5%, kalafunovaná bavlna 25 Tex x 2 s koncentrací 1% a 3%, čistý polyester TDTex 110F36X1.
- Teplota a vlhkost jsou zajištěny trvale v laboratoři.
- Vstupní tah byl nastaven okolo 100 mN ( poměr sil se ustálí na poměrně stále hodnotě).
- Úhel opásání mezi útkovou nití a válečkem (4) je nastaven 45°.
- Měřicí zařízení bylo v dobrém stavu.

Výsledky byly analyzovány a objevovaly se na obrazovce analyzátoru. Vypadají takto: (viz.obr.III-9)

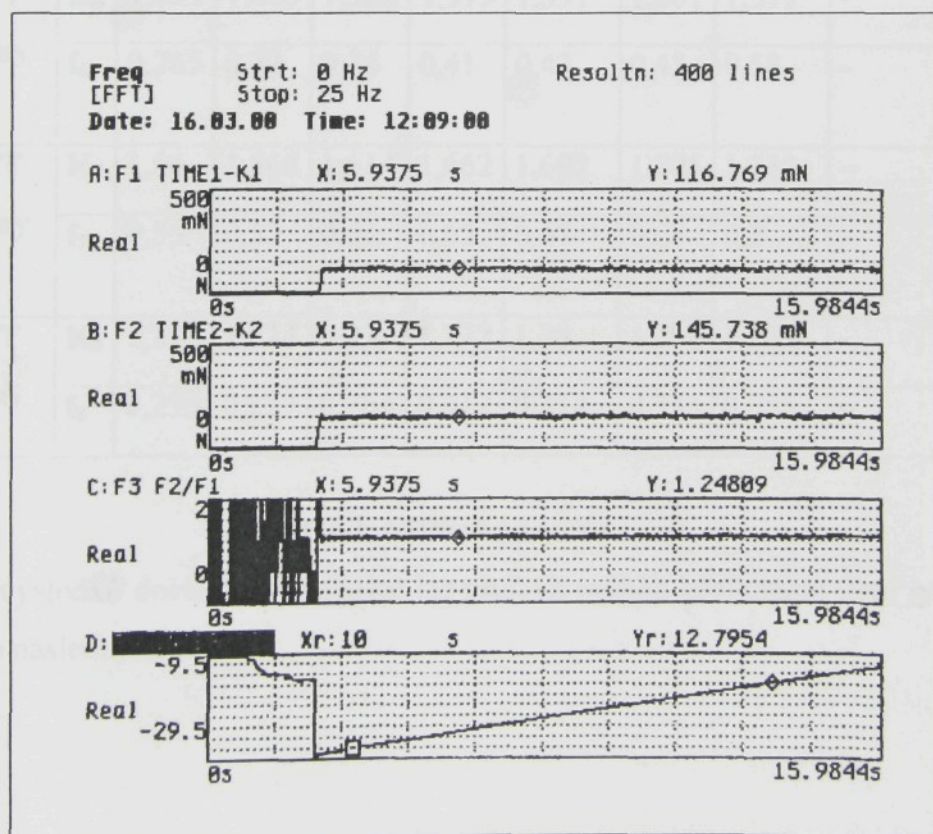
Při měření jsme používali 2 kanály: kanál A je průběh vstupní síly, kanál B je průběh výstupní síly. Hodnoty poměru  $F_2/F_1$  a integrálu poměru  $F_2/F_1$  se objevují na kanály C a D. Z tohoto výsledku lze vypočítat koeficient tření podle Eureka zákona:

$$\frac{F_2}{F_1} = e^{f \cdot \alpha}, \text{ kde } \alpha = 45^\circ = \pi/4.$$

$$f = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{F_2}{F_1}.$$

Hodnoty  $F_2$ ,  $F_1$  jsou průměry hodnot v každém měření, které trvá 20 sekund. Značíme-li  $K_i = F_{2i}/F_{1i}$ ; i je index odpovídající naměřené přízi.

Výsledky součinitele tření [49] jsou uvedeny v tabulce (Tab.III- 1) a na grafech III-10:



Obr.III-9. Měřené výsledky se projevují na obrazovce analyzátoru

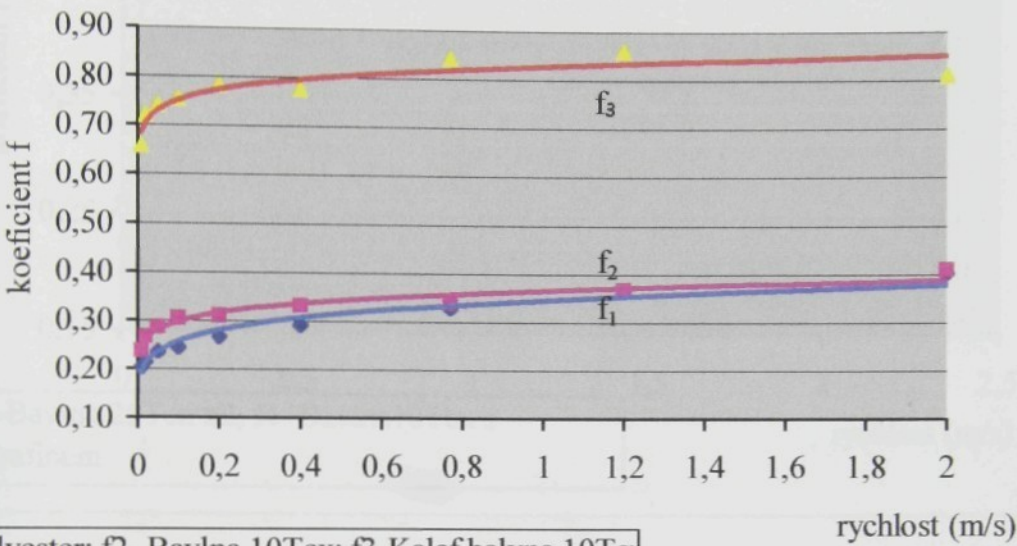


| Rychlost v                   |                | 0,01<br>m/s | 0,02<br>m/s | 0,05<br>m/s | 0,1<br>m/s | 0,2<br>m/s | 0,4<br>m/s | 0,77<br>m/s | 1,2<br>m/s | 2<br>m/s |
|------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|----------|
| Polyester                    | K <sub>1</sub> | 1,173       | 1,183       | 1,203       | 1,212      | 1,233      | 1,258      | 1,295       | 1,334      | 1,373    |
|                              | f <sub>1</sub> | 0,20        | 0,21        | 0,23        | 0,24       | 0,27       | 0,29       | 0,33        | 0,37       | 0,4      |
| Režná Ba.<br>10 Tex          | K <sub>2</sub> | 1,204       | 1,233       | 1,251       | 1,27       | 1,276      | 1,297      | 1,304       | 1,337      | 1,38     |
|                              | f <sub>2</sub> | 0,24        | 0,27        | 0,28        | 0,3        | 0,31       | 0,33       | 0,34        | 0,37       | 0,41     |
| Kalafun.<br>Ba.1,5%          | K <sub>3</sub> | 1,678       | 1,762       | 1,79        | 1,81       | 1,85       | 1,84       | 1,94        | 1,967      | 1,89     |
|                              | f <sub>3</sub> | 0,66        | 0,72        | 0,74        | 0,75       | 0,78       | 0,77       | 0,84        | 0,86       | 0,81     |
| Parafin.<br>Ba.10Tex         | K <sub>4</sub> | 1,192       | 1,221       | 1,25        | 1,262      | 1,289      | 1,3        | 1,306       | 1,318      | 1,336    |
|                              | f <sub>4</sub> | 0,22        | 0,25        | 0,28        | 0,30       | 0,32       | 0,33       | 0,34        | 0,35       | 0,37     |
| Režná ba.<br>25x2Tex         | K <sub>5</sub> | 1,224       | 1,23        | 1,24        | 1,254      | 1,295      | 1,315      | 1,353       | 1,360      | 1,397    |
|                              | f <sub>5</sub> | 0,257       | 0,264       | 0,275       | 0,288      | 0,329      | 0,348      | 0,385       | 0,392      | 0,426    |
| Ba.25x2T<br>s kalafuny<br>1% | K <sub>6</sub> | 1,251       | 1,285       | 1,326       | 1,379      | 1,391      | 1,401      | 1,577       | -          | -        |
|                              | f <sub>6</sub> | 0,285       | 0,32        | 0,36        | 0,41       | 0,42       | 0,43       | 0,58        | -          | -        |
| Ba.25x2T<br>s kalafuny<br>3% | K <sub>7</sub> | 1,54        | 1,568       | 1,614       | 1,662      | 1,692      | 1,705      | 1,732       | --         | -        |
|                              | f <sub>7</sub> | 0,55        | 0,57        | 0,61        | 0,65       | 0,67       | 0,68       | 0,7         | -          | -        |
| Ba.25x2T<br>s parafiny       | K <sub>8</sub> | 1,222       | 1,224       | 1,23        | 1,277      | 1,28       | 1,298      | 1,322       | -          | -        |
|                              | f <sub>8</sub> | 0,255       | 0,257       | 0,264       | 0,312      | 0,314      | 0,333      | 0,355       | --         | --       |

Tab.III-1. Měřené údaje K<sub>i</sub>.

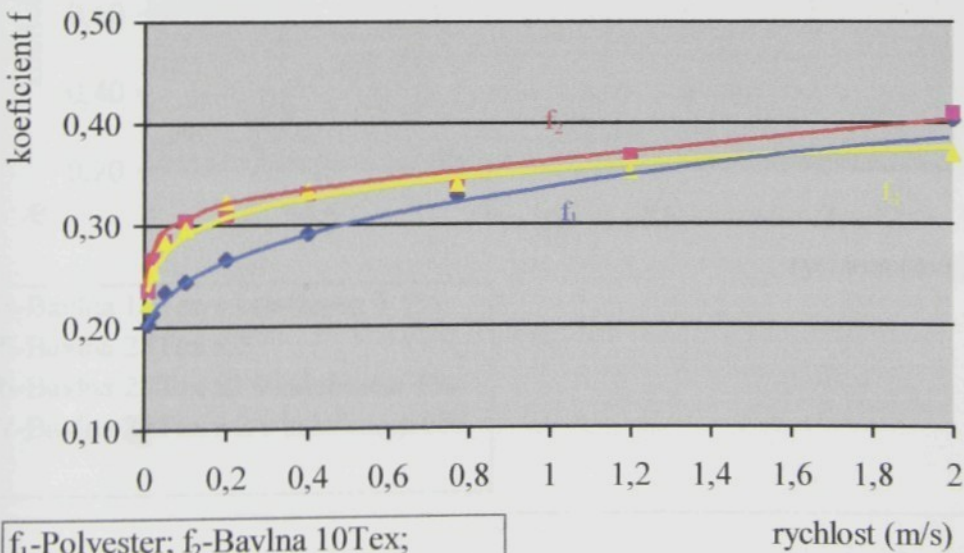
Z těchto výsledků dostaných v tabulce lze projevit průběh koeficientu tření rychlostně závislého následujícími grafy

závislost koeficientu tření na rychlosti



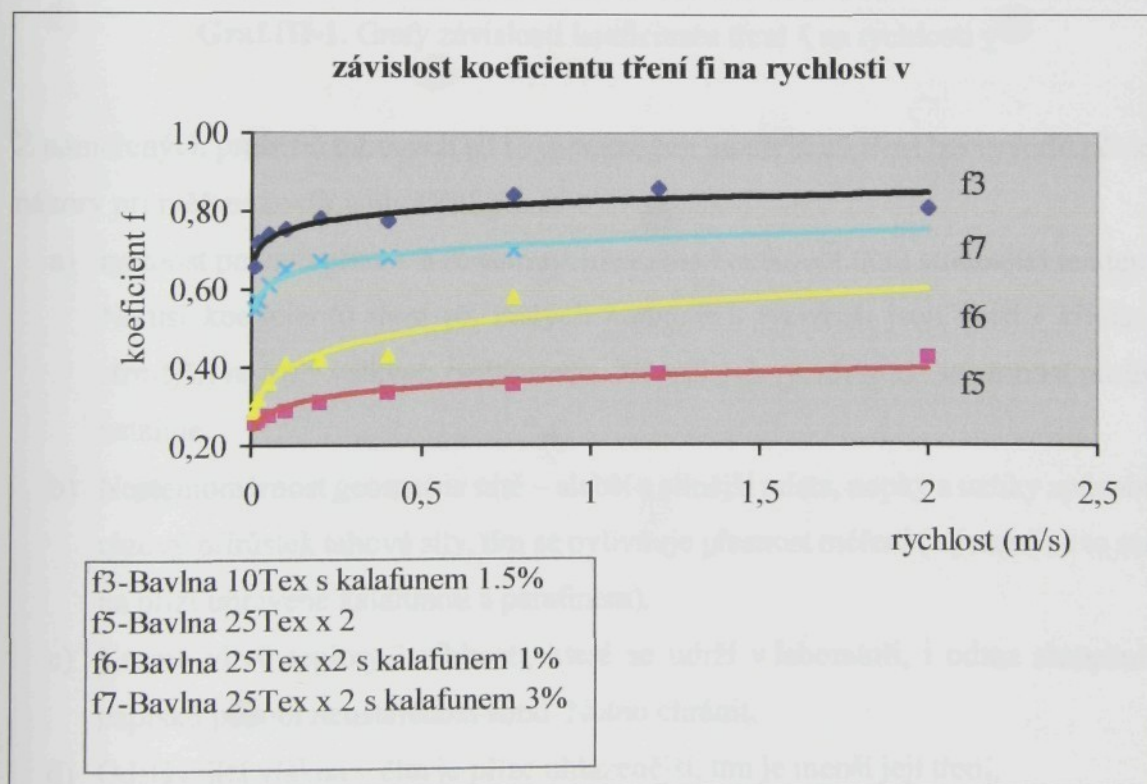
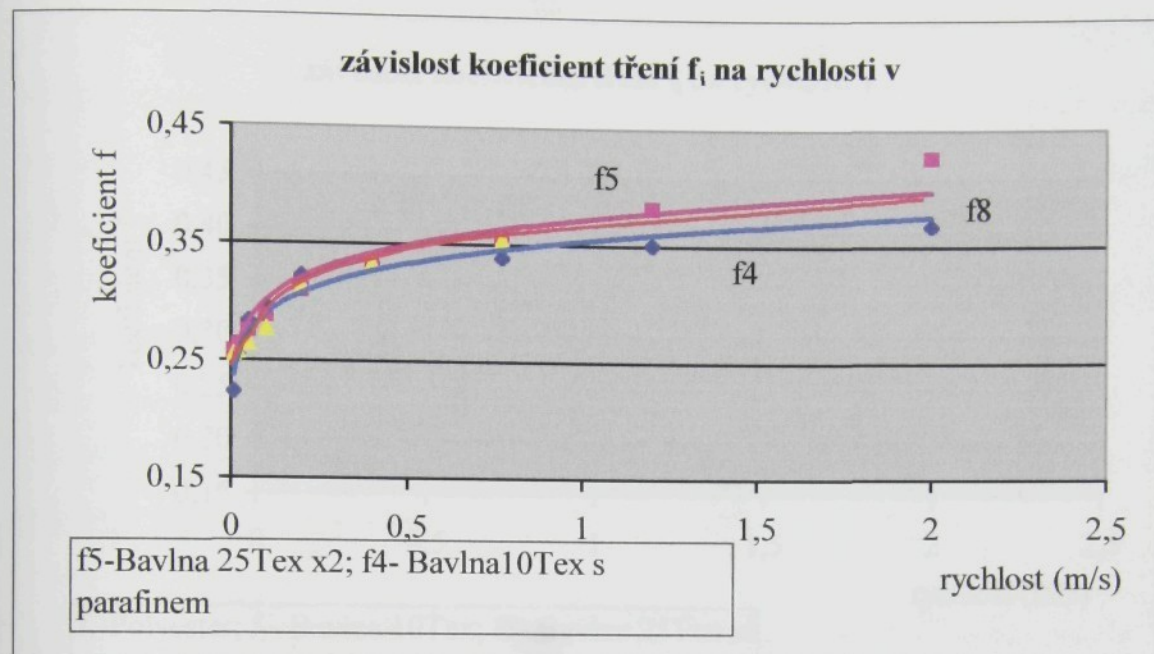
f1-Polyester; f2- Bavlna 10Tex; f3-Kalaf.bavlna 10Tex

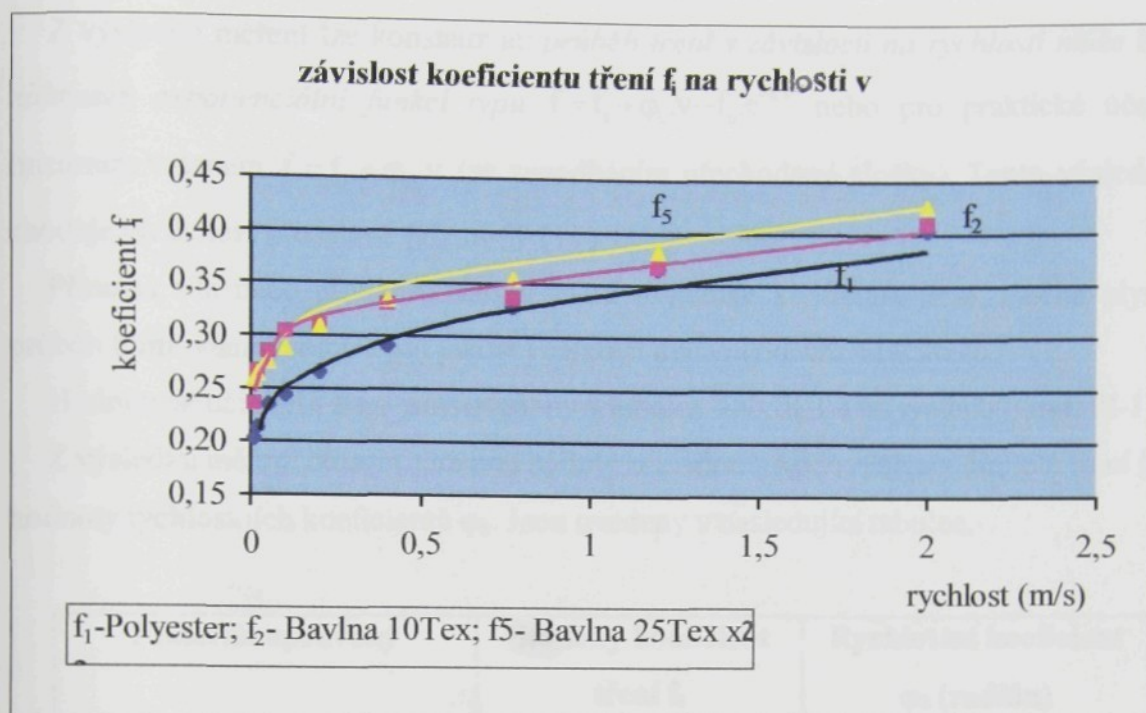
závislost koeficientu tření  $f_i$  na rychlosti  $v$



$f_1$ -Polyester;  $f_2$ -Bavlna 10Tex;  
 $f_4$ -Bavlna 10Tex s parafinem







**Graf.III-1.** Grafy závislosti koeficientu tření  $f_i$  na rychlosti  $v$

Z naměřených průběhů tahových sil i vypočítaných koeficientů tření lze vyvodit některé názory při měření koeficientu tření příze:

- rychlost posuvu příze – s růstem rychlosti má koeficient tření stoupající tendenci. Nárůst koeficientů tření při malých hodnotách rychlosti jsou větší (křivka je strmější) než při velkých rychlostech. Při velkých rychlostech se strmost nárůstu ustaluje.
- Nestejněměrnost geometrie nitě – slabší a silnější místa, nopky a uzlíky způsobují rázový přírůstek tahové síly, tím se ovlivňuje přesnost měření (výrazně se to stalo na přízi upravené kalafunou a parafinem).
- Kromě vlivů teploty i vlhkosti, které se udrží v laboratoři, i odraz slunečních paprsků působí neustálenost sond. Nutno chránit.
- Odstávající vlákna – čím je příze uhlazenější, tím je menší její tření.
- Manipulace při cejchování sondy je třeba provádět s rovnoměrnou rychlostí. Tento krok má vliv přímo na výsledky měření.



**Poznatky**

Z výsledků měření lze konstatovat: průběh tření v závislosti na rychlosti může být nahrazen exponenciální funkcí typu  $f = f_s + \varphi_k \cdot v - f_b \cdot e^{-k \cdot v}$  nebo pro praktické účely lineárním vztahem  $f = f_s + \varphi_k \cdot v$  (se zanedbáním přechodové složky). Tento výsledek shoduje předchozí představu (viz.obr.I-11f).

Přírazná síla nebo přírazná energie velmi ovlivňuje koeficient tření, z něho plyne průběh formování tkaniny a její jakost i celkové dynamické chování stavu.

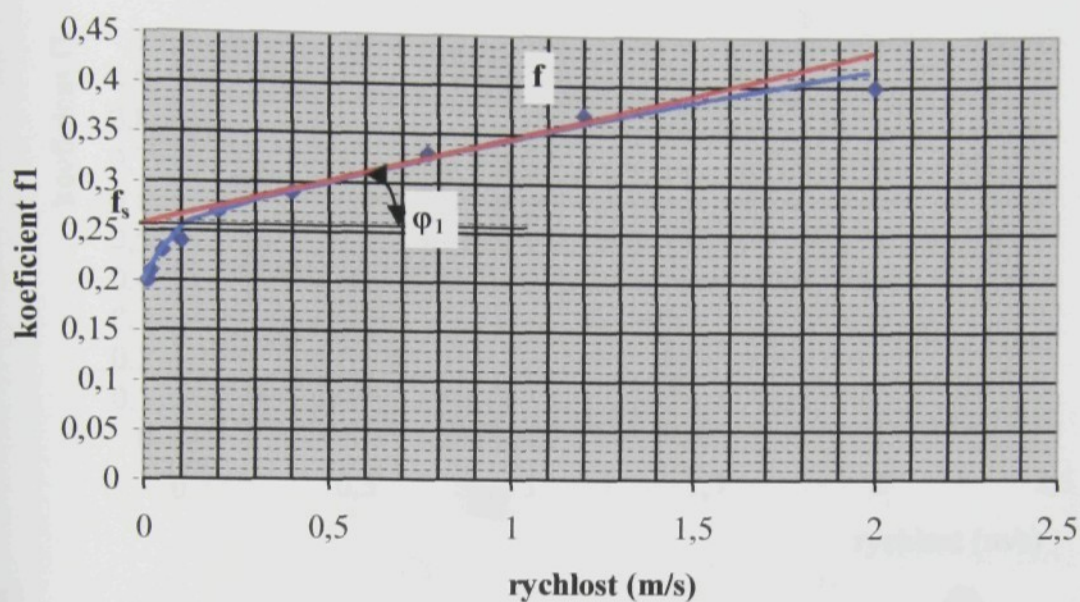
Hodnoty součinitelů tření jsou uvedeny v tabulce Tab.III-1 a na grafech (Graf. III-1)

Z výsledků měření lze aproximovat hodnoty základních klidových součinitelů tření  $f_s$  a hodnoty rychlostních koeficientů  $\varphi_k$ . Jsou uvedeny v následující tabulce.

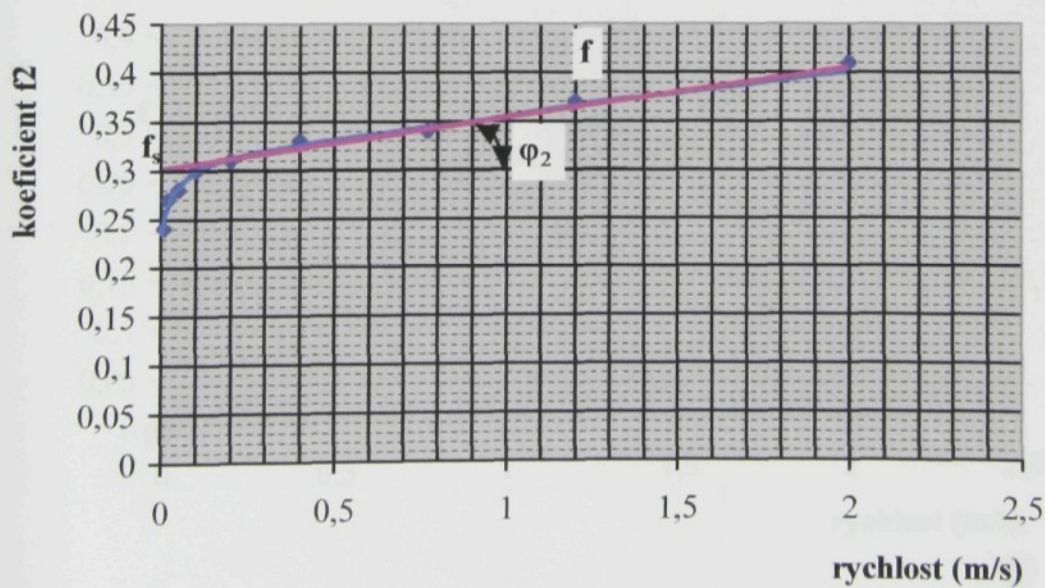
| <b>Materiál upravený</b>  | <b>Statický koeficient<br/>tření <math>f_s</math></b> | <b>Rychlostní koeficient<br/><math>\varphi_k</math> (radián)</b> |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Polyester                 | 0,26                                                  | 0,083                                                            |
| Režná bavlna 10Tex        | 0,308                                                 | 0,0443                                                           |
| Ba.10Tex s kalafunou 1,5% | 0,79                                                  | 0,02496                                                          |
| Parafinovaná bavlna 10Tex | 0,312                                                 | 0,0363                                                           |
| Režná bavlna 25x2Tex      | 0,325                                                 | 0,0775                                                           |
| Ba.25x2Tex s kalafunou 1% | 0,4                                                   | 0,1693                                                           |
| Ba.25x2Tex s kalafunou 3% | 0,648                                                 | 0,0419                                                           |
| Ba.25x2Tex s parafinem    | 0,31                                                  | 0,0559                                                           |

**Tab.III-2.** Hodnoty  $f_s$  a  $\varphi_k$  pro různé materiály

průběh koeficientu tření pro PES

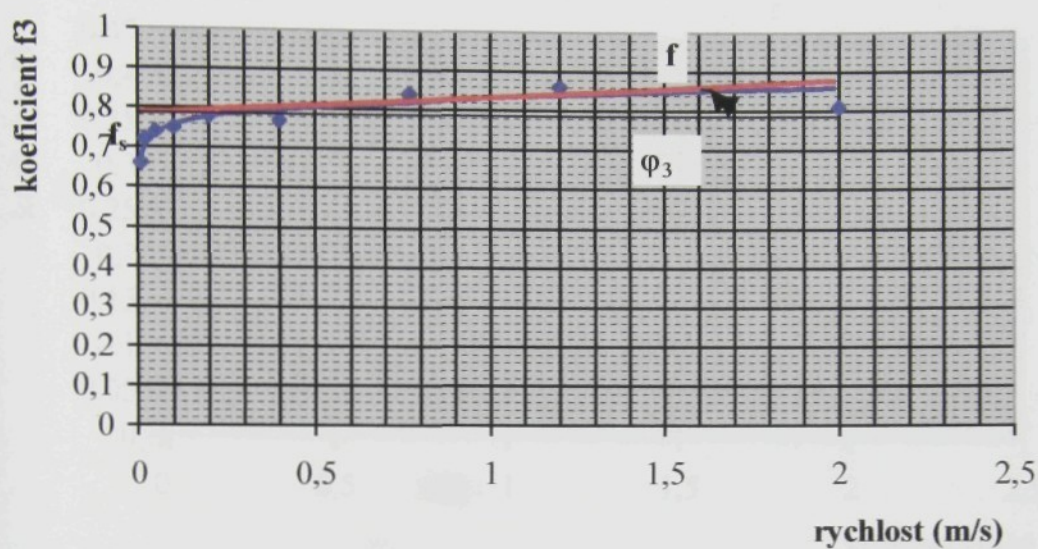


průběh koeficientu tření pro Ba10Tex

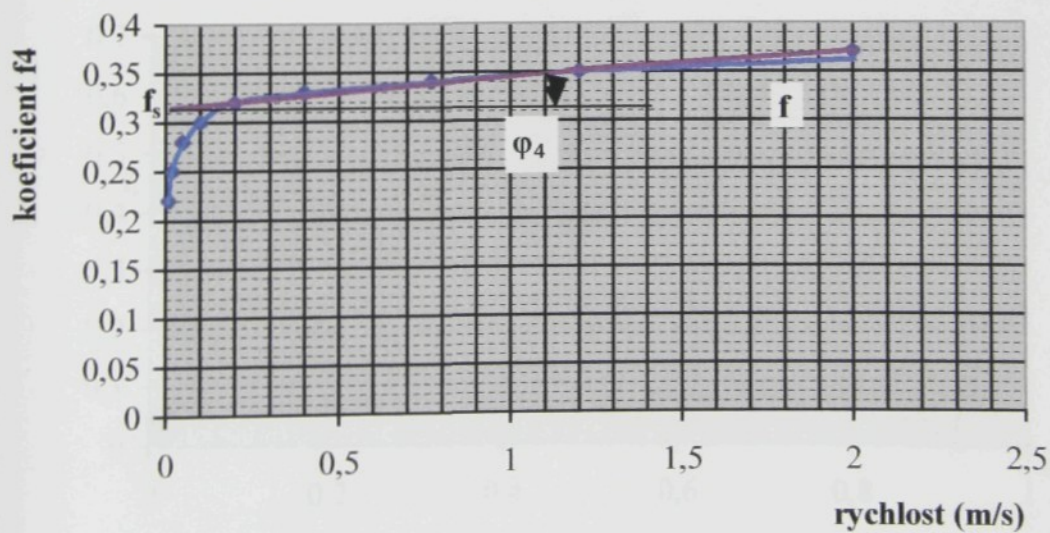




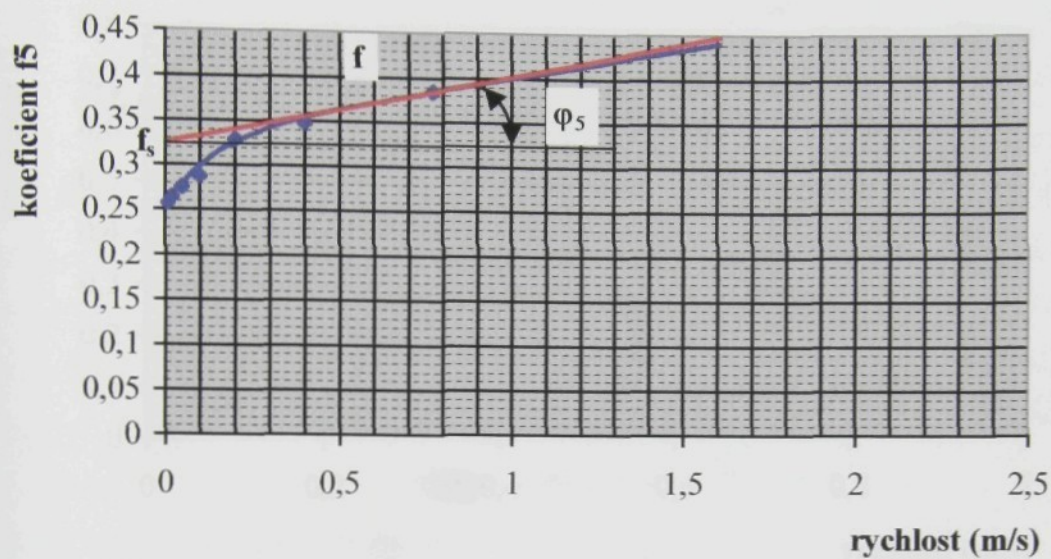
průběh koeficientu tření pro kalafunovaný 10Tex útek



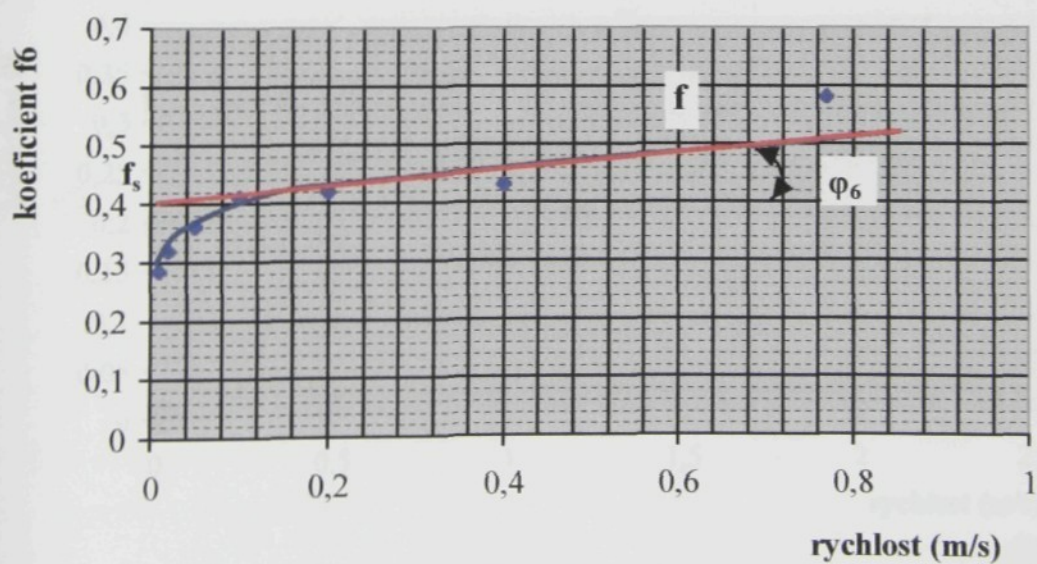
průběh koeficientu tření pro Para.10Tex útek



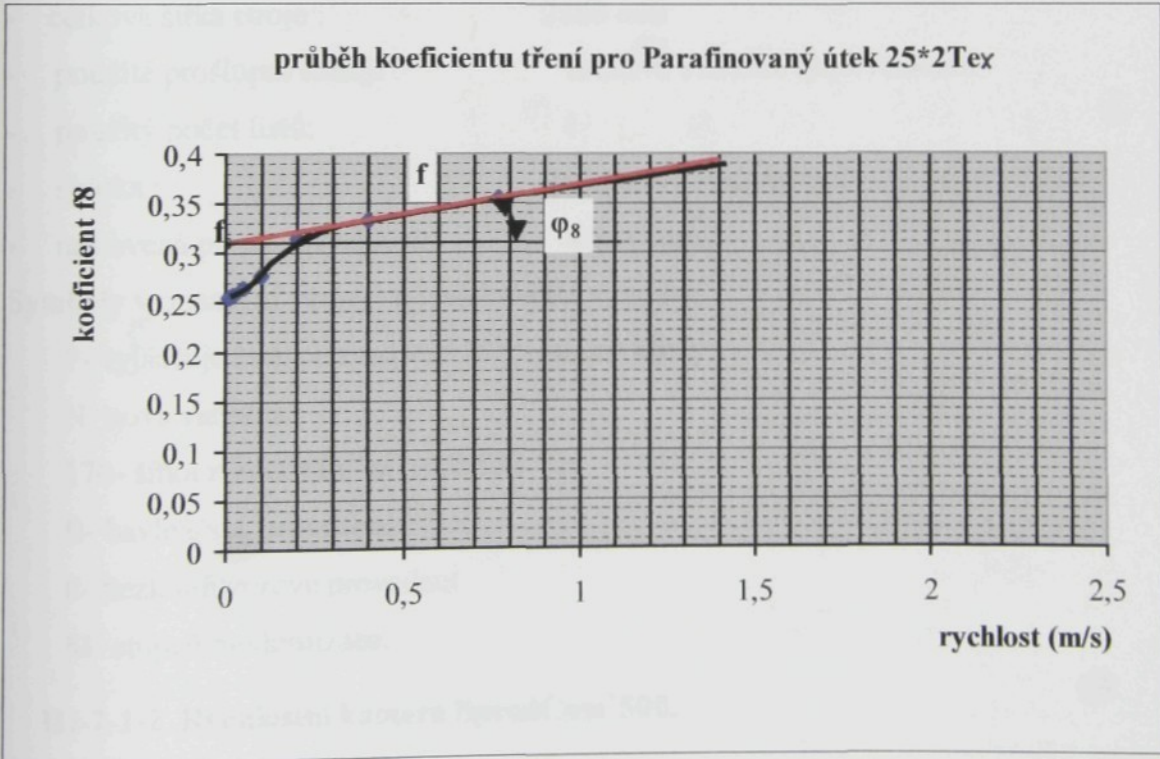
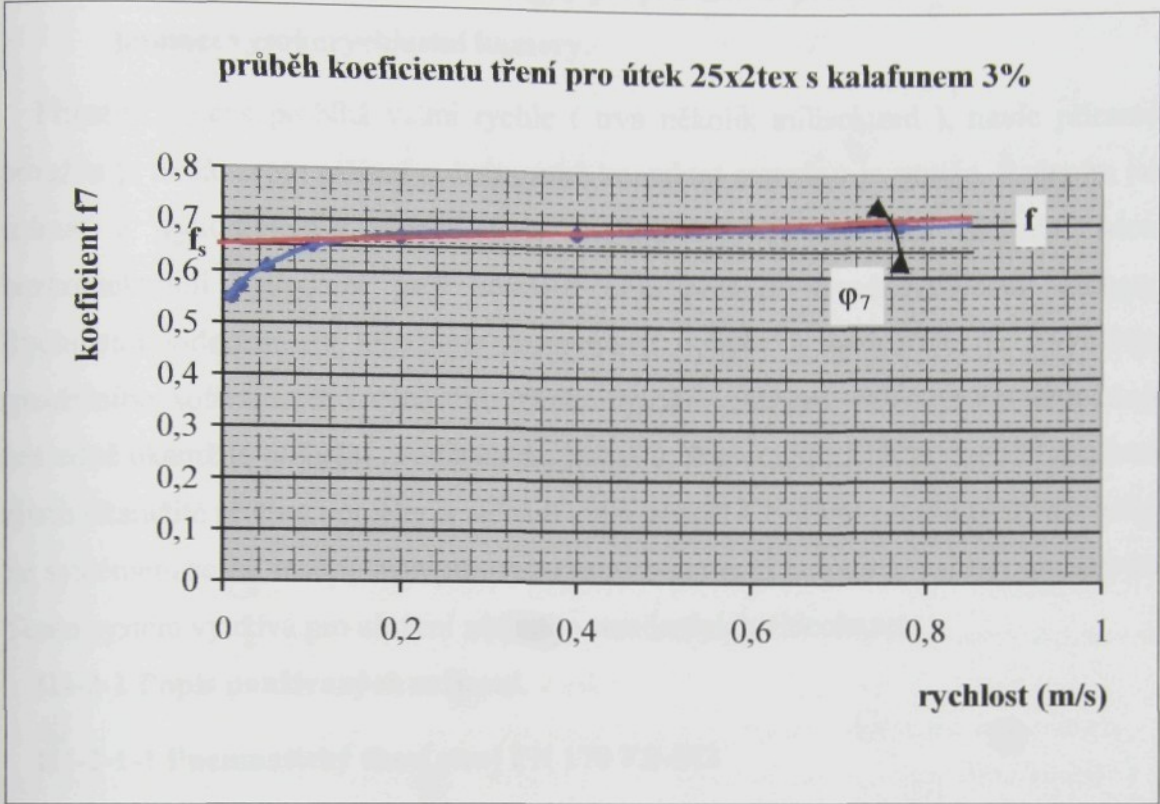
průběh koeficientu tření pro Ba25\*2Tex



průběh koeficientu tření pro kalafunovaný 25x2Tex útek







Graf.III-2. Ilustrace statických součinitelů tření  $f_s$  a rychlostních kinematických koef. $\varphi_k$

### **III-2 Sledování hnutí útků do tkaniny při přírazném procesu pomocí vysokorychlostní kamery.**

Přírazný proces probíhá velmi rychle ( trvá několik milisekund ), navíc přírazná proužka je malá, proto měření pohybu útků kontaktní metodou je potíže. Řešením jak snímat a vyhodnocovat složité děje mohou být bezkontaktní metody. Mezi bezkontaktními metodami patří snímání dějů pomocí vysokorychlostní kamery. Rychlostní videokamera umožňuje zaznamenat pohyby a analyzovat je s využitím speciálního softwarového vybavení. Tento vysokorychlostní videosystém umožňuje následně okamžité přehrání zpomaleného pohybu. Pomocí SPEEDCAM +500 můžeme zjistit okamžitě příčinu poruchy či selhání a tím přispět k zvýšení produktivity a kvality. Se systémem se dá snadno manipulovat a provoz stroje či linky nemusí být omezován. Tento systém využívá pro uložení záznamu standardních videokazet.

#### **III-2-1 Popis používaných zařízení.**

##### **III-2-1-1 Pneumatický tkací stroj PN 170 FB-M2**

Základní technické parametry tkacího stroje PN 170 FB- M2

- celková šířka stroje : 2860 mm
- použité prošlupní ústrojí : vačkové s drážkovými vačkami
- použitý počet listů: 4
- svůrka : pohyblivá - odpružená
- nastavená přírazná rychlost: 400 ot.min<sup>-1</sup>

Symbole v označení stroje mají následující význam:

P- vyjadřuje způsob zanášení útku- pneumaticky

N- nová varianta

170- šířka zpracování na paprsku v cm

B- bavlnářské provedení

F- bezkonfuzorové provedení

M- stupeň modernizace.

##### **III-2-1-2 Rychlostní kamera SpeedCam<sup>+</sup>500.**

Sledování pohybu útku i vzájemného procesu mezi paprskem, útkem a formovací zónou při přírazu, který probíhá ve velmi krátkém čase asi několik milisekund,

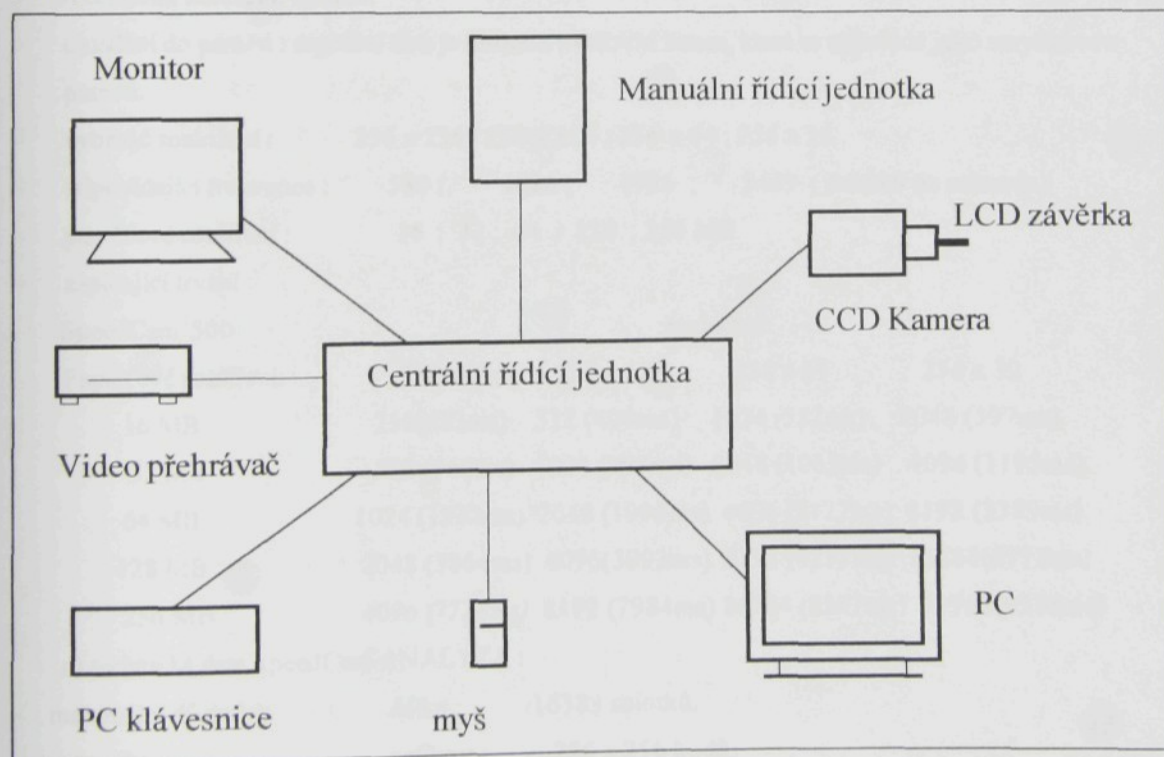


používáme rychlostní kamery SpeedCam<sup>+</sup>500. V určitých podmínkách digitální kamera může zapsat vzájemné působení pohybujících objektů a může přehrát jejich pohyby s pomalejšími rychlostmi nebo zobrazovat jednotlivé okénka filmu jako fotografie. Tyto funkce potřebují další zařízení kromě rychlostní kamery. Jsou to: centrální kontrolní jednotka, počítač, PC monitor, černobílý monitor a speciální softwarové programy.[50]

Struktura a funkce systému:

V systému SpeedCam kamery kontrolní modulace je integrována se standardním osobním počítačem ve centrální kontrolní jednotce (obr.III-10 ). Všechny komponenty jsou spojeny s centrálním zařízením. Základní funkce kamery jako je zápis, přehrávání, atd. může být kontrolována pomocí manuální kontrolní jednotky. SpeedCam softwarový komplex kontroluje plný rozsah systémové funkce. Kontrola se provádí u dat získaných systémem kamery a počítači. Digitální rychlostní kamera SpeedCam zapisuje rychlé pořadí pohybů a uloží je v digitální formě do smyčkové paměti. Zapsané pořadí může se přehrát s požadovanou pomalejší rychlostí pomocí monitoru videa. Nahrávající frekvence snímků zaleží na vybraném rozložení a omezení hodnoty max. 3000 snímků za sekundu. Systém synchronizovaný interními křemennými hodinami pracuje v jeho maximální frekvenci.

Systém kamery může pracovat v kterékoliv frekvenci, která je menší než maximální frekvence nebo je komplexně synchronizován z vnějšku. Záznamová grafická data se ukládají na pevném disku počítače a jsou přímo analyzována programovým komplexem.



Obr.III-10. Schéma centrální řídicí jednotky.

# Technická data systému kamery:

## a) CCD. Kamera

|                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
|                                | SpeedCam <sup>+</sup> 500 (256) |
| - vzorkovací element ( bod ) : | 256 x 256                       |
| - počet bodů :                 | 65636                           |
| - rozměr čipu :                | 4096 x 4096 mm                  |
| - diagonála :                  | 5793 mm                         |
| - šedý vstup :                 | 8 bit                           |
| - citlivost :                  | přibližně ISO. 3200/36          |
| - spektrální citlivost : Max.  | 750 mm                          |
| rozsah v menší 50%             | 500...900 mm                    |
| - uchycení objektu :           | C- MOUT                         |

## Mechanická konstrukce kamery:

|                                             |                                       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| - rozměr ( Š x V x H ) :                    | 9 x 9 x 10 cm                         |
| - váha ( bez objektivu ) :                  | 600 g                                 |
| - pojící kabel kamery/ kontrolní zařízení : | délka 3 m                             |
| - příkon :                                  | 4,1 W                                 |
| - pracovní teplota :                        | 0...40°C, vlhkost ve vzduchu max. 90% |
| - bezpečné zatížení :                       | max. 30 g ( s speciálním objektivem)  |

## b) centrální kontrolní systém:

|                                                                                                         |                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| - ukládání do paměti : digitální data je uložena v DRAM bance, která se uspořádá jako smyčkovou paměti. |                                               |
| - vybrané rozložení :                                                                                   | 256 x 256 ; 256 x 128 ; 256 x 64 ; 256 x 32.  |
| - odpovídající frekvence :                                                                              | 530 ; 1026 ; 1926 ; 3429 ( snímků na sekundu) |
| - paměťové rozšíření :                                                                                  | 16 ; 32 ; 64 ; 128 ; 256 MB                   |
| - zapicující trvání :                                                                                   |                                               |

## SpeedCam<sup>+</sup>500

## rozložení

| Paměťové rozšíření: | 256 x 256     | 256 x 128     | 256 x 64       | 256 x 32      |
|---------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| 16 MB               | 256(483ms)    | 512 (499ms)   | 1024 (532ms)   | 2048 (597ms)  |
| 32 MB               | 512 (966ms)   | 1024 (998ms)  | 2048 (1063ms)  | 4096 (1195ms) |
| 64 MB               | 1024 (1932ms) | 2048 (1996ms) | 4096 (2127ms)  | 8192 (2389ms) |
| 128 MB              | 2048 (3864ms) | 4096(3992ms)  | 8192 (4253ms)  | 16384(4778ms) |
| 256 MB              | 4096 (7728ms) | 8192 (7984ms) | 16384 (8507ms) | 32768(9556ms) |

## c) technická data SpeedCam ANALYZA :

|                                       |            |                 |
|---------------------------------------|------------|-----------------|
| - maximální důsledek                  | délka :    | 16383 snímků.   |
| - max. obraz                          | velikost : | 256 x 256 bodů. |
| - max. počet obrazový objekt/ obraz : |            | 10.             |
| - max. chrám obrazujícího bodu :      |            | 64"x 64 bodů.   |



- max. prohlížení (horizontální limit / vertikální limit) délka : 256.

Snímač CCD ( $4 \times 4$  mm) snímá světlo odražené od pozorovaného předmětu. Skládá se z  $256 \times 256$  rozlišovacích bodů. Tato plná rozlišovací schopnost odpovídá snímací frekvenci kamery 500 Hz. Pokud nastavíme vyšší snímací frekvenci ( až do 3300Hz), dosáhne se zvýšení rychlosti snímání tím, že řídící signál přečte pouze každý druhý, každý čtvrtý nebo každý osmý řádek. Nevýhoda je v tom, že rychlost je zde vykoupena nižší rozlišovací schopností ve vertikálním směru.

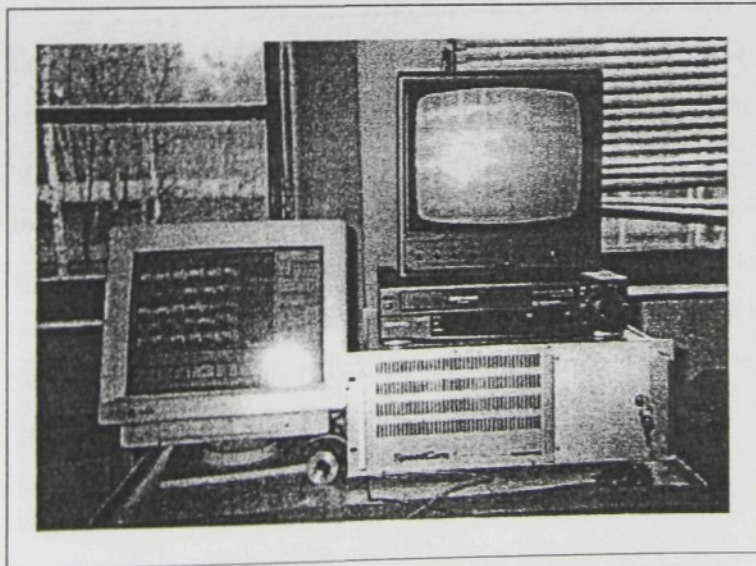
Pokud potřebujeme snímat děje v méně přístupných místech, můžeme kameru doplnit o endoskop, který nám toto umožní, a speciální osvětlovací zařízení. Při snímání obrazů je snímací prvek CCD kamery vystaven světlu po celou dobu přenosu obrazu. Při 500 obr./s je to 2 ms. Jelikož by byl obraz při snímání rychlých pohybů rozmazaný, používají se na odstranění tohoto problému různá přídavná zařízení: LCD závěrka a stroboskopické světlo.

### **Program pro analýzu pohybu**

Volitelným přídavkem pro zpracování obrazů sejmutých systémem SPEEDCAM+500 je program ANALYZE. Tento program, který je učen k analýze pohybů, můžeme nainstalovat do libovolného počítače s procesorem 386 nebo vyšším. V rámci jednoho obrazu můžeme vybrat až 10 objektů (významných bodů). Tyto objekty jsou sledovány složitými metodami rozpoznávání obrazu a umělou inteligencí. Rychlost sejmutí obrazů má být v souladu s frekvencí chodu sledovaného mechanismu, aby vzdálenosti mezi sledovanými body na jednotlivých obrazech umožňovaly propojení plynulou křivkou.

Výsledkem pro všechny vybrané objekty jsou přesně určené souřadnice x, y v časových krocích  $\Delta t$  o velikosti dané převrácenou hodnotou frekvence vzorkování.

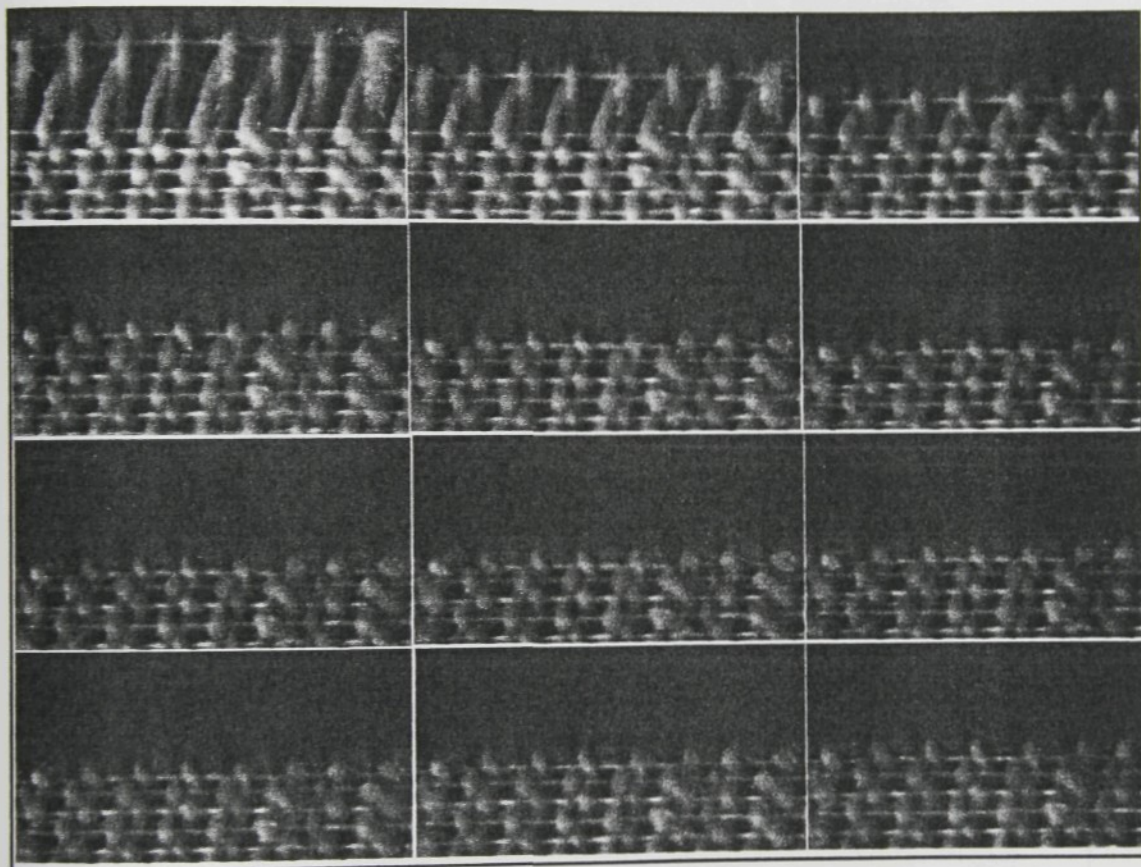
Nad stavbou k analýze pohybu je instrukce IMAGE PROCESS, která pomocí filtrů provádí analýzu obrazu. Při filtraci obrazů lze použít druhy filtrů jako například: nízkofrekvenční filtr různé kontrast, eroze, mediány, dilatace, obrysy, Sobelův filtr, jedno či dvojdimenzionální filt.



**Obr.III-11.** Sledování pohybu útku na monitoru.

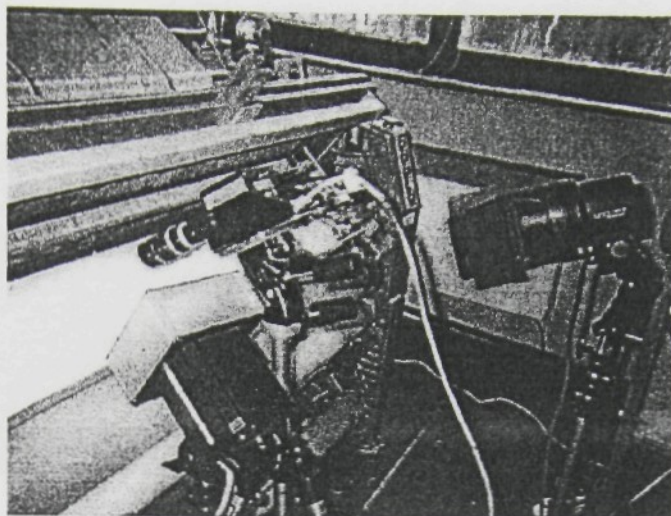
***Použití rychlostní kamery pro záznam a analýzu skluzu útků do tkaniny***

Provedení digitálního záznamu sklouzávajícího útku v dostatečném zvětšení umožňuje proniknout do celého děje. Ze záznamu můžeme zkoumat fáze skluzu útků do tkaniny, jeho interakci s osnovními nitmi a paprskem. Při použití zvláštní výbavy pro makrosnímání můžeme sledovat i následné posuvy útků ve formovací zóně při přírazu. Tyto posuvy útků se objevují na obrazovce monitoru a jsou ukázány na následujícím obr.III-12:



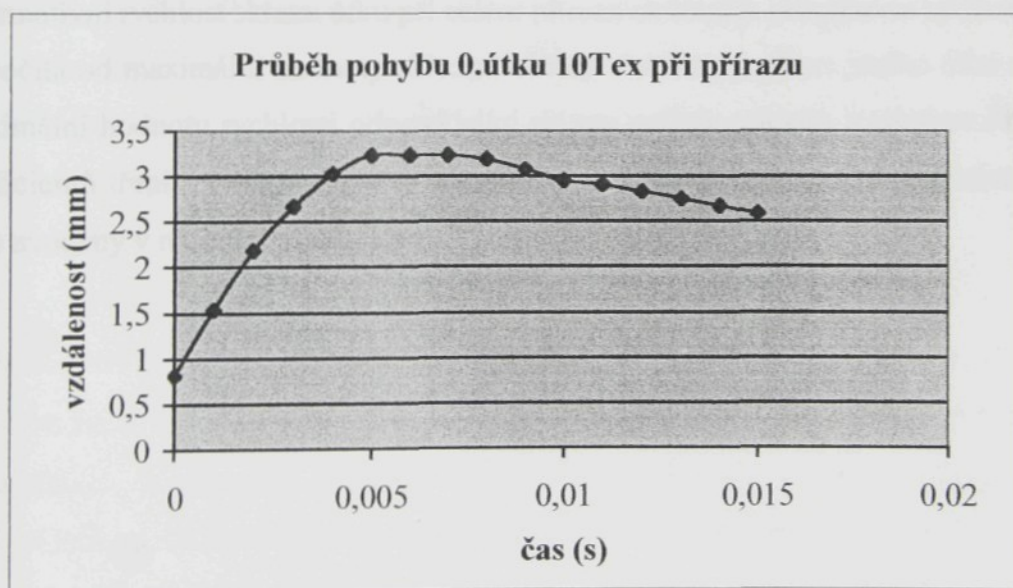
**Obr. III-12.** Posuvy útků při přírazu

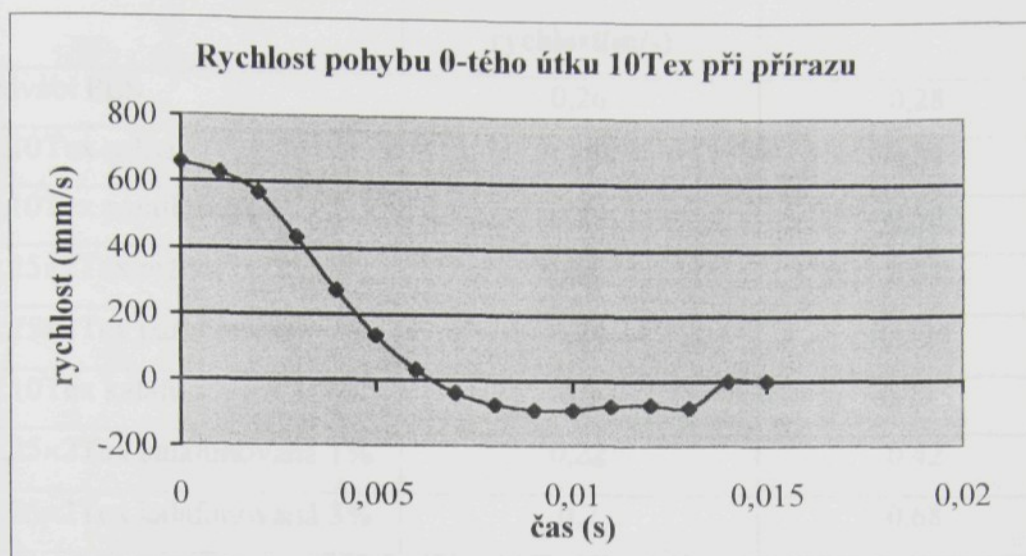




**Obr. III-13.** Snímání skluzu útku do tkaniny digitální rychlokamerou

Pokud používáme následně programu ANALYZE, můžeme tyto sekvence graficky vyjádřit v základních kinematických veličinách dráha, rychlost, zrychlení. K sledování pohybu útků při a po přírazu pro každou zkoumanou nit dostaneme odpovídající výsledky. Vypadají takto (grafy III-3)





**Graf. III-3.** Průběh a rychlost skluzu nultého útku při přírazu

Z výsledků, které dostáváme analytickým programem v systému SPEEDCAM, zjistíme pohyby útku v čele tkaniny při přírazu. Zjištění přírazné rychlosti paprsku v okamžiku přírazu je velmi komplikované. Předpokládáme, že rychlost paprsku při přírazu je přibližně stejná jako rychlost skluzu útku v okamžiku dotyku paprsku. Za informativní rychlost skluzu útku při celém přírazu uvažujeme průměrnou hodnotu, která se počítá od maximální hodnoty skluzu do nuly. Pro každý příraz jiného útku zjistíme maximální hodnotu rychlosti odpovídající skluzu určíme průměr, a zjistíme i hodnoty koeficientů tření, změřené dříve (viz.graf.III-2). Průměrné rychlosti a koeficienty tření jsou uvedeny v následující tabulce:



| Měřený útek                | Průměrná hodnota rychlost(m/s) | Koeficient tření |
|----------------------------|--------------------------------|------------------|
| Hedvábí PES                | 0,26                           | 0,28             |
| Ba.10Tex rezná             | 0,284                          | 0,33             |
| Ba.10Tex parafinovaná      | 0,29                           | 0,32             |
| Ba.25×2Tex rezná           | 0,245                          | 0,34             |
| Ba.25×2Tex parafinovaná    | 0,24                           | 0,325            |
| Ba.10Tex kalafunovaná 1,5% | 0,2                            | 0,795            |
| Ba.25×2Tex kalafunovaná 1% | 0,22                           | 0,42             |
| Ba.25×2Tex kalafunovaná 3% | 0,2                            | 0,68             |

**Tabulka III-3.** Průměrná rychlost skluzu útku a koeficienty tření pro různé materiály.

### III-2-2 Zjišťování počtu hrajících útků ve formovací zóně teoreticky.

Pokud známe úhel rozevření prošlupu  $\Phi_b$  v okamžiku po přírazu, dále úhel provázání osnovy uvnitř tkaniny  $\Phi_A$  (dán nastavenou dostavou A), a součinitel tření  $f$ , můžeme zjistit počet nití ve formovací zóně z grafu rozložení úhlů po resp. při přírazu (byly uvedeny v kapitole II-2-1).

Obdobný vztah, ale s opačnými znaménky u koeficientů tření, platí pro situaci po přírazu. Posloupnost úhlů při přírazu a po přírazu lze spojit do jednoho grafu. K jeho vytvoření je možno použít pomocného nomogramu dvou funkcí:

$$Q_i = \cos \Phi_i e^{f\Phi_i} ; Q_{i+1} = \cos \Phi_{i+1} e^{-f\Phi_{i+1}} ; Q_i = Q_{i+1} \text{ uvnitř tkaniny}$$

Součinitel tření  $f$  pro příslušnou přízi byl zjišťován v tabulce III-3. Úhel rozevření prošlupu na prvním útku při přírazu je prakticky  $\Phi_b = 0$  (listy jsou v zástupu), úhel odpovídající nastavené dostavě  $\Phi_A$  bude vypočten z rovnice (II-4) pokud předpokládáme, že  $e_2 = 0,5$  a  $A = 0,5\text{mm}$  (odpovídá nastavené dostavě útků  $D_2 = 20$  nití/10mm).

Průměr nití je brán jako průměr niti všude stejně husté:  $d = 1,41 \sqrt{\frac{T}{\gamma_s}}$ , kde  $T$ -

jemnost jednotlivých přízí,  $\gamma_s$ - měrná hmotnost pro používané materiály:

$$\gamma_{1(\text{PES})} = 1380 \text{ g.mm}^{-3} ; \gamma_{2(\text{Bavlna})} = 1550 \text{ g.mm}^{-3}$$

$$d_{o \text{ (Ba.25Tex)}} = 0,179 \text{ mm}$$

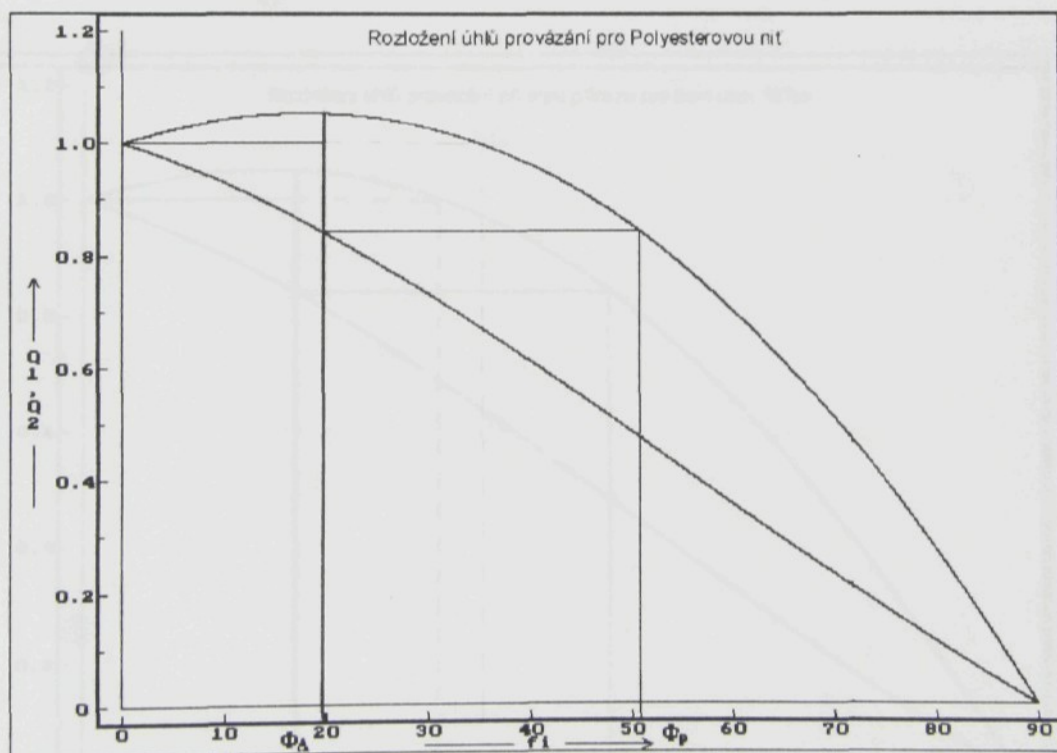
$$d_{u1 \text{ (PES)}} = 0,133 \text{ mm} \Rightarrow d_{s1} = \frac{d_o + d_{u1}}{2} = 0,156 \text{ mm}; \Phi_{A1} \approx 19,5^\circ$$

$$d_{u2 \text{ (Ba.10Tex)}} = 0,113 \text{ mm} \Rightarrow d_{s2} = \frac{d_o + d_{u2}}{2} = 0,146 \text{ mm}; \Phi_{A2} \approx 20^\circ$$

$$d_{u3 \text{ (Ba.25x2Tex)}} = 0,253 \text{ mm} \Rightarrow d_{s3} = \frac{d_o + d_{u3}}{2} = 0,216 \text{ mm}; \Phi_{A3} \approx 22^\circ$$

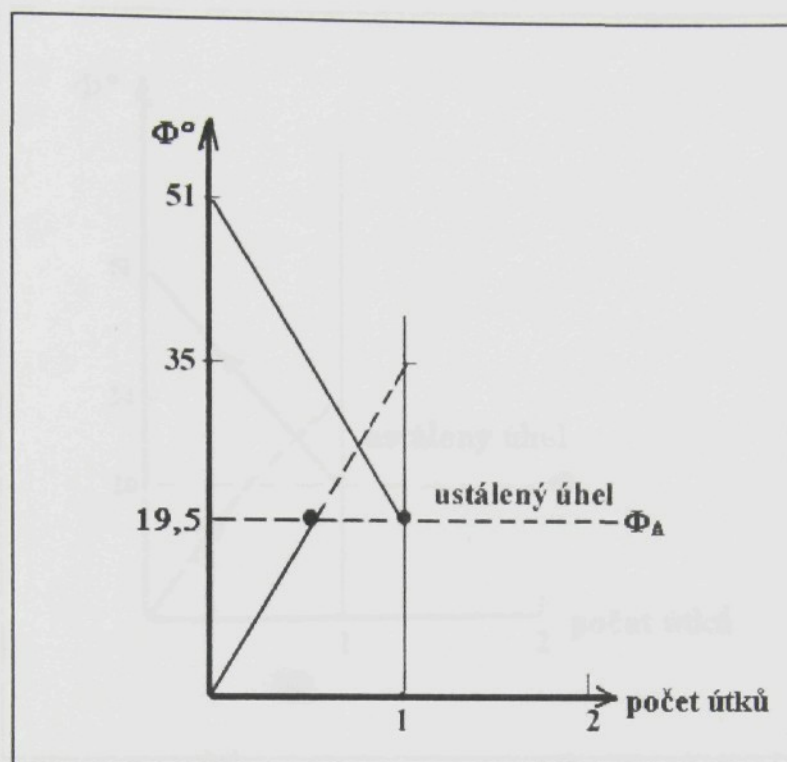
Rozložení úhlů provázání osnovy a útku lze počítat podle rekurentního vztahu (II-8) nebo vytvořením pomocného grafu použitím programovacího jazyka Famulus. Z grafů můžeme odečíst jednak počet hrajících útků na čele tkaniny a jednak velikost přírazného úhlu  $\Phi_p$ . Pomocné grafy se výrazně liší svým tvarem podle velikosti součinitele tření. Do grafu lze zakreslit jednotlivé „stuně“ představující shodu vodorovných složek tahů v nitech před- a za  $i$ -tým útkem. Z nich lze odečíst posloupnosti útků ve tkanině.

Je zřejmé, že útky se od útku k útku mění výrazně více při vyšším součiniteli tření (zejména např. na kalafunovaném útku).

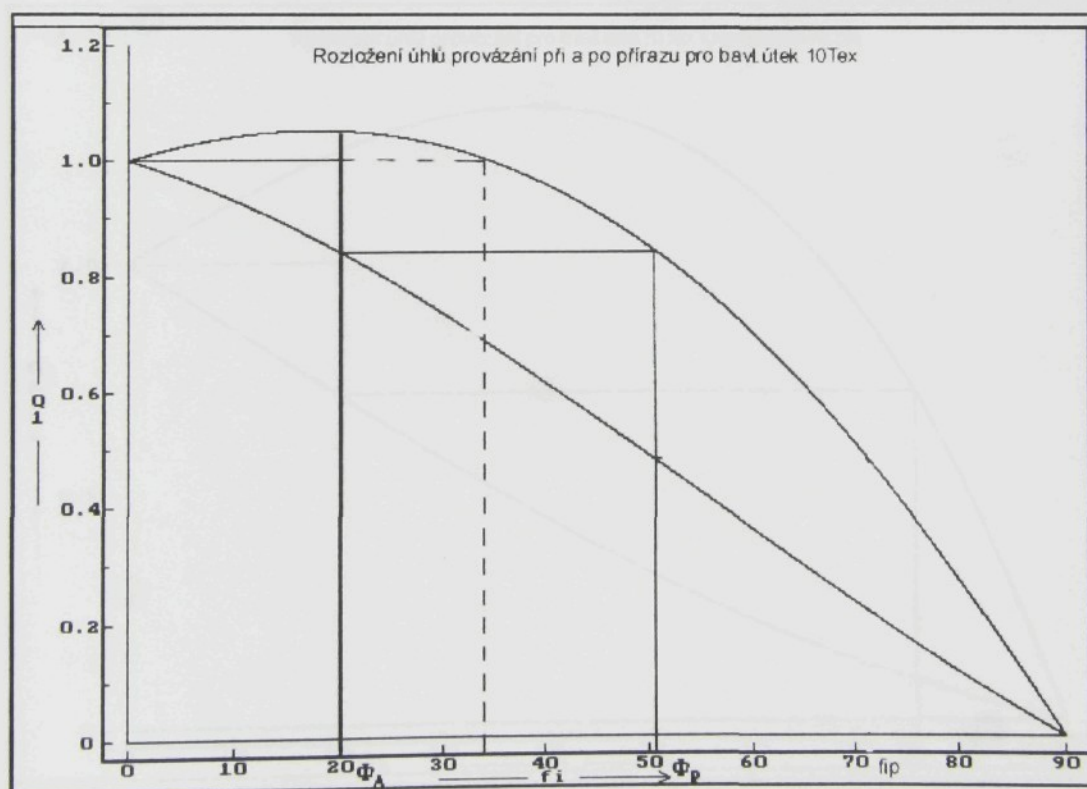


**Graf III-4-a.** Rozložení úhlů provázání osnovy a útku po a při přírazu pro PES

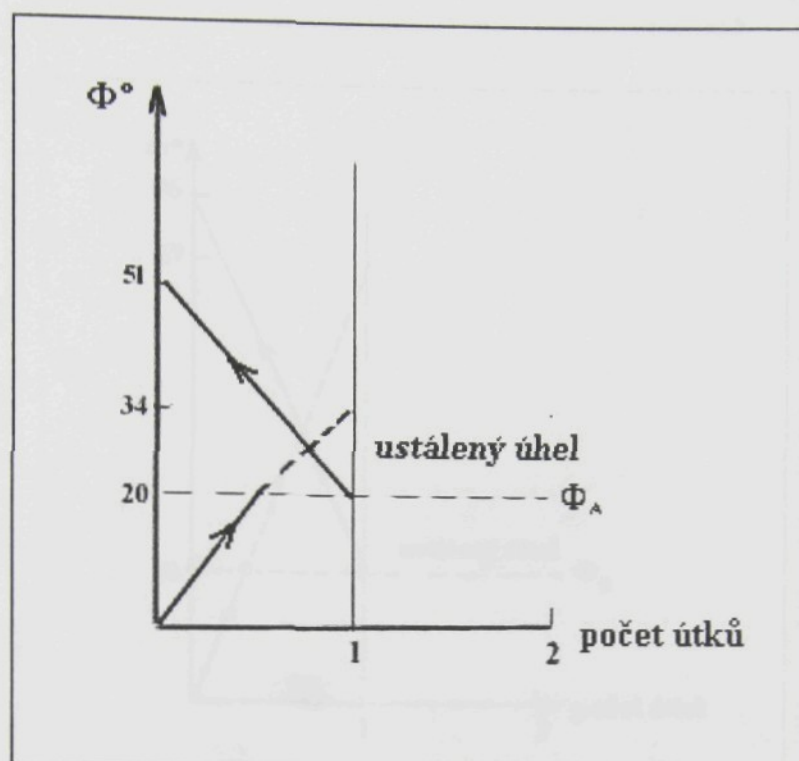




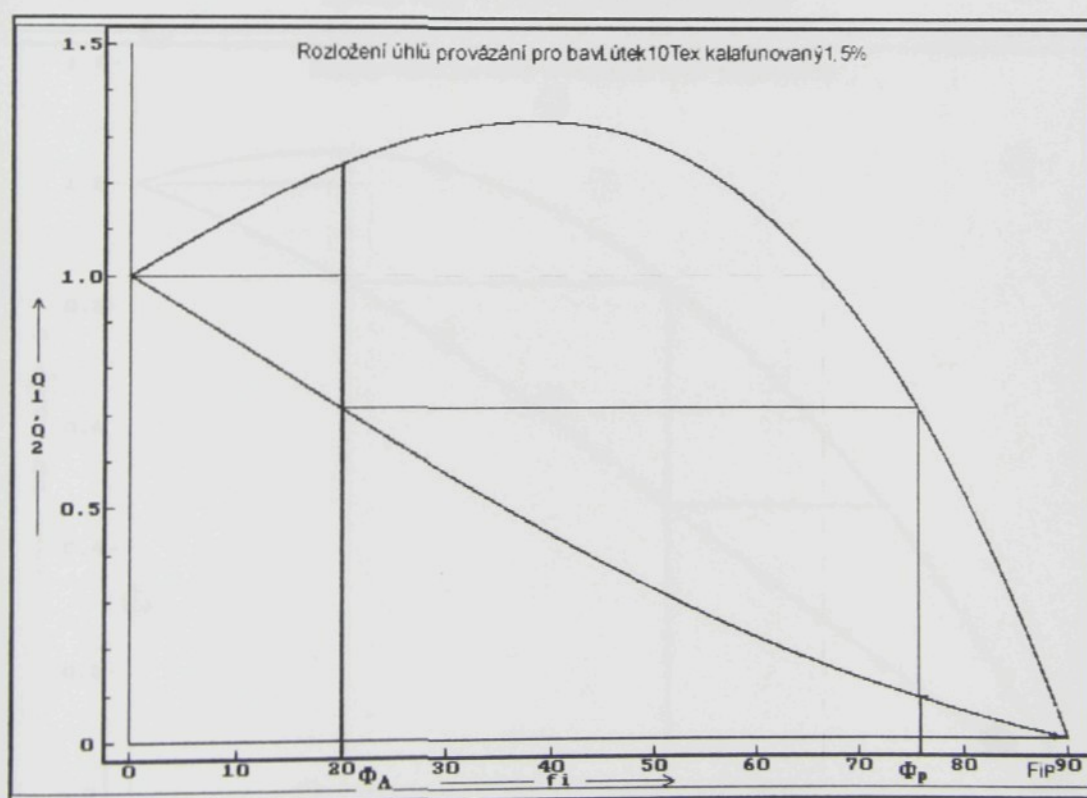
Graf.III-4-b. Rozložení vazných úhlů ve formovací zóně pro PES



Graf.III-5-a. Rozložení úhlů provázání při a po přirazu pro bavlnou přízi 10 Tex

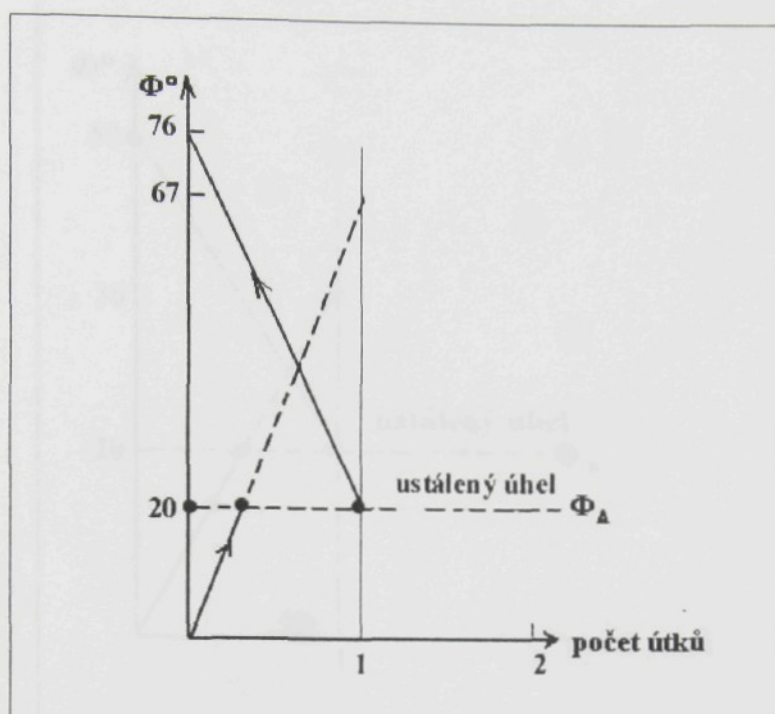


**Graf III-5-b.** Rozložení vazných úhlů ve formovací zóně pro reznou bavlnou přize 10Tex

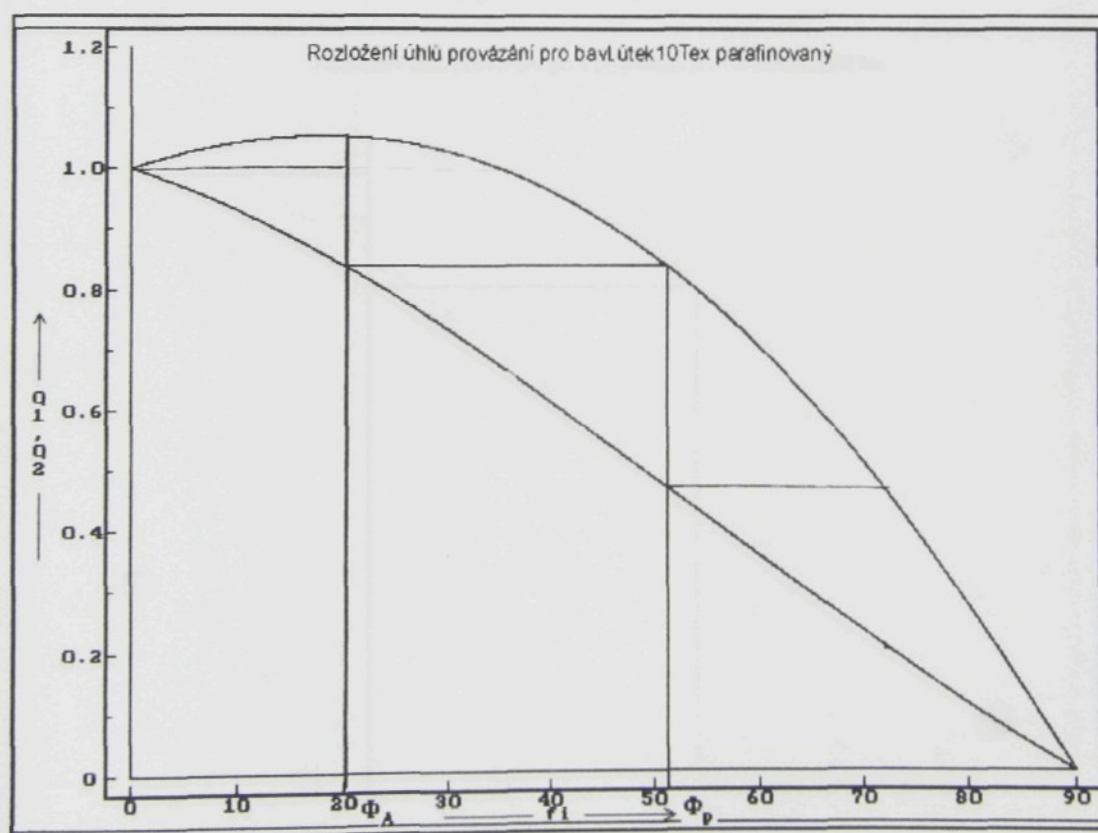


**Graf III-6-a.** Rozložení úhlů provázání pro bavlněný útek 10Tex apretovaný 1,5% roztokem kalafuny

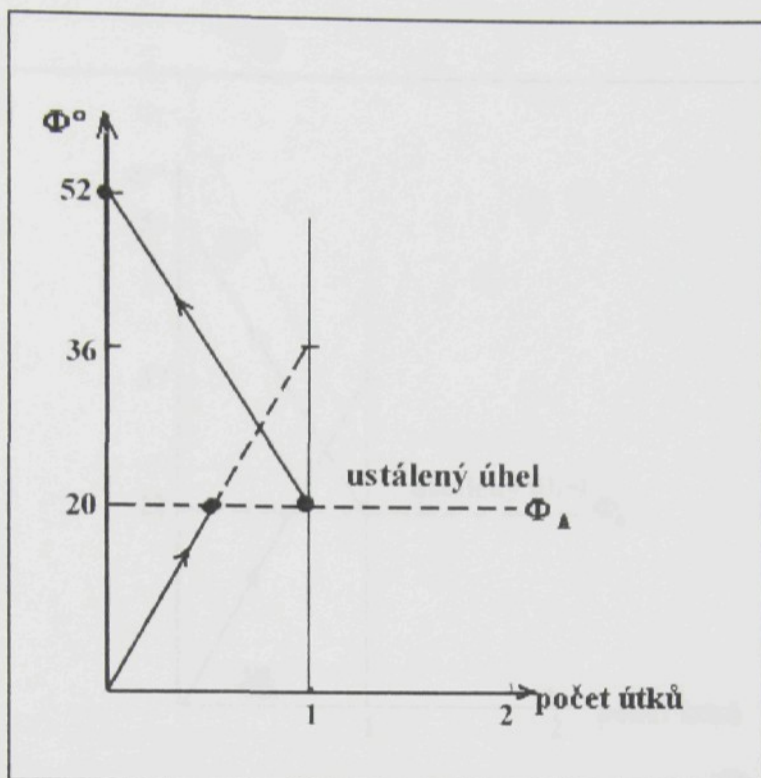




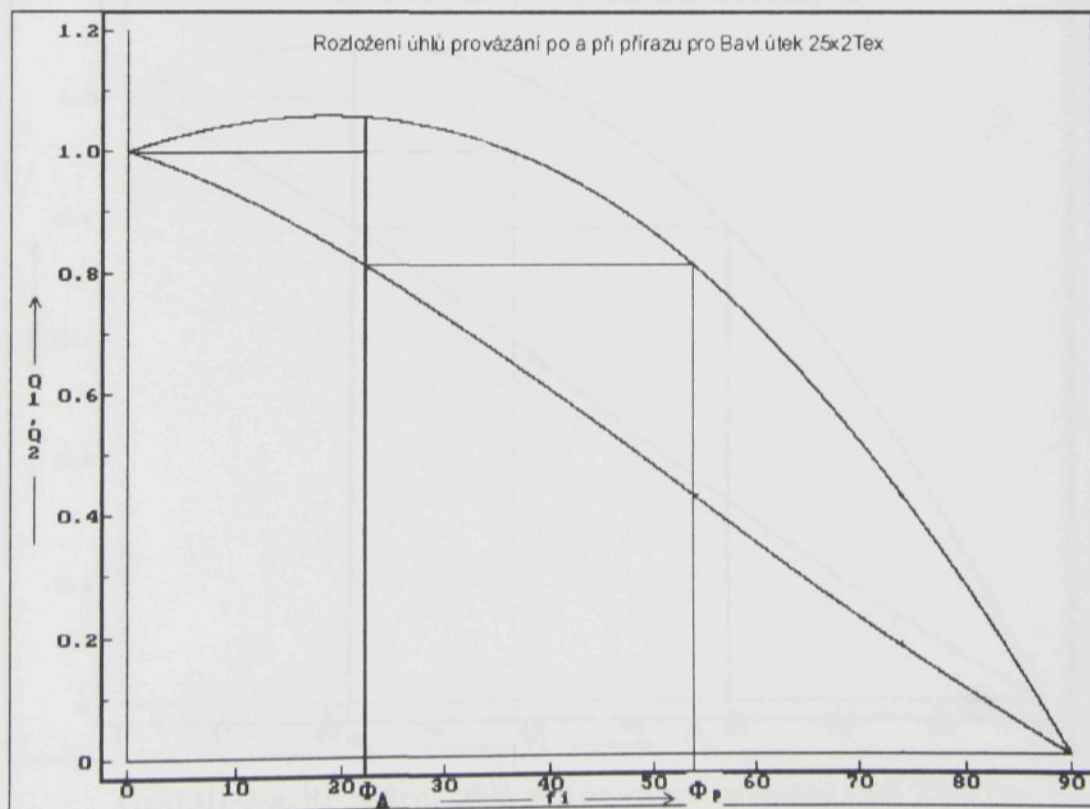
**Graf.III-6-b.** Rozložení vazných úhlů při a po přírazu pro bavlněný útek 10Tex apretovaný 1,5% roztokem kalafuny



**Graf.III-7-a.** Rozložení úhlů provázání pro bavlněný útek 10Tex parafinovaný

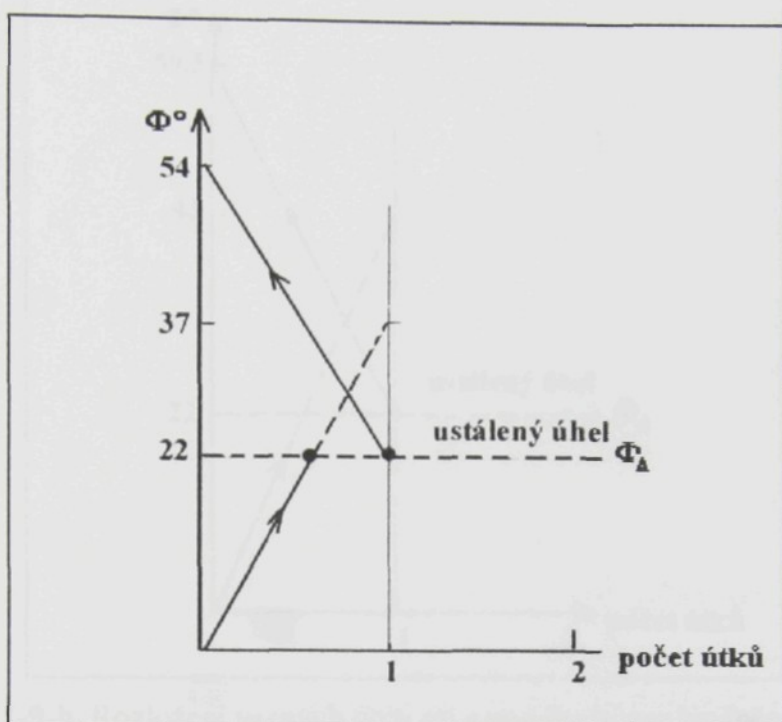


**Graf.III-7-b.** Rozložení vazných úhlů při a po přírazu pro bavlněný útek 10Tex  
parařinovaný

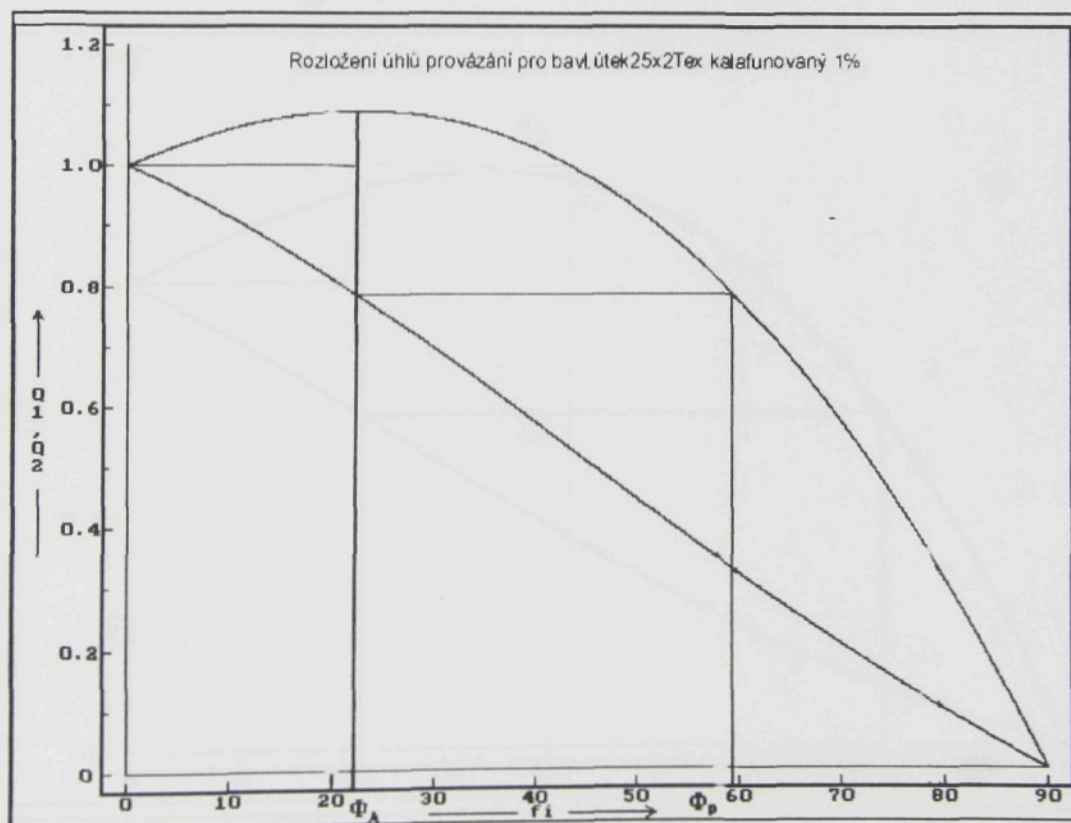


**Graf III-8-a.** Rozložení úhlů provázání pro režnou bavlněnou přízi 25x2Tex

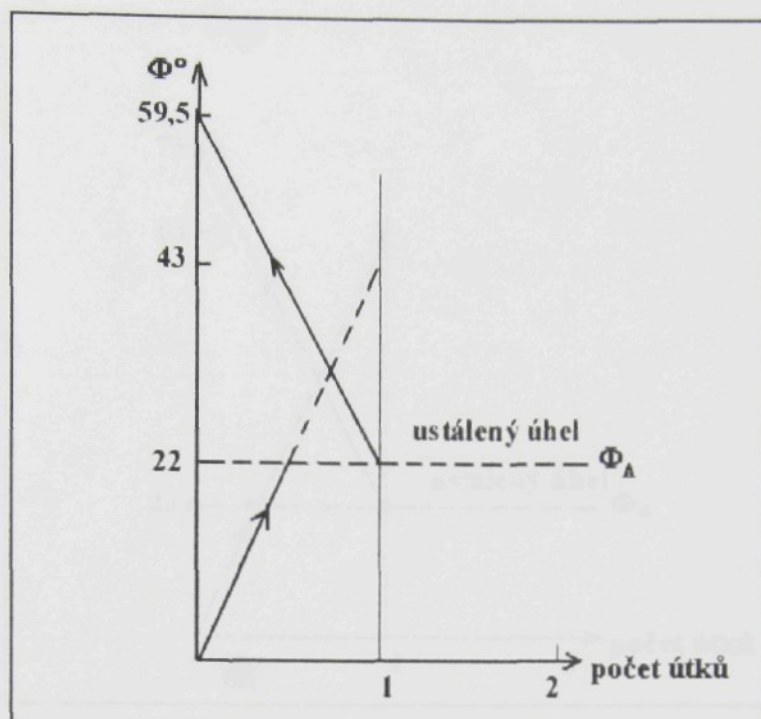




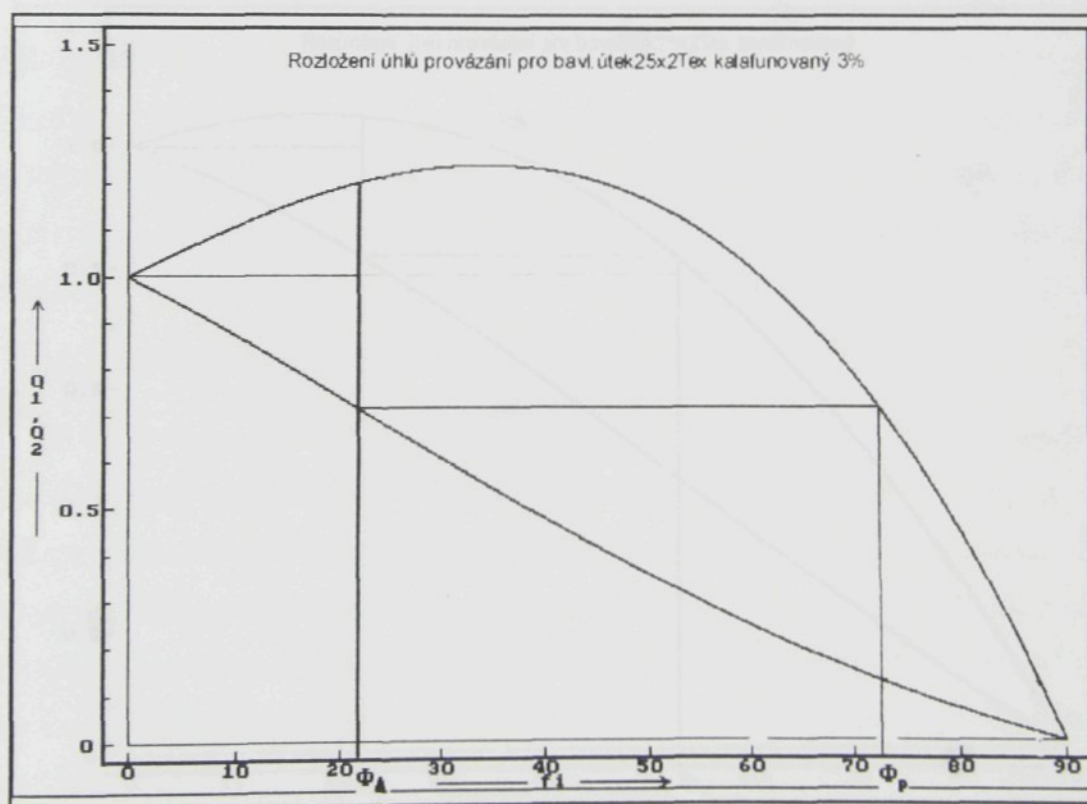
Graf. III-8-b. Rozložení vazných úhlů pro reznou bavlněnou příze 25x2Tex



Graf. III-9-a. Rozložení úhlů provázání pro bavlněný útek 25x2Tex apretovaný 1% roztokem kalafuny.

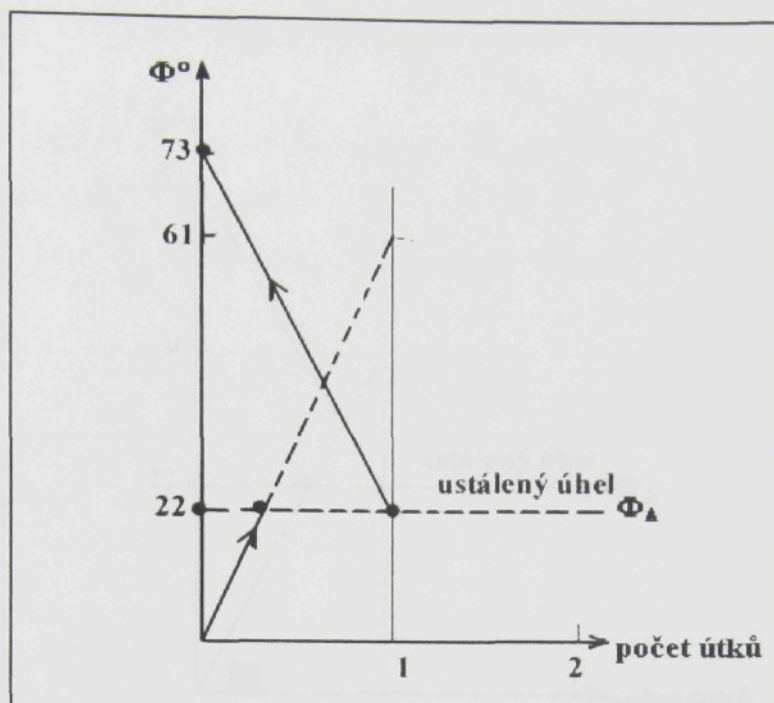


**Graf.III-9-b.** Rozložení vazných úhlů při a po přírazu pro bavlněný útek 25x2Tex apretovaný 1% roztokem kalafuny

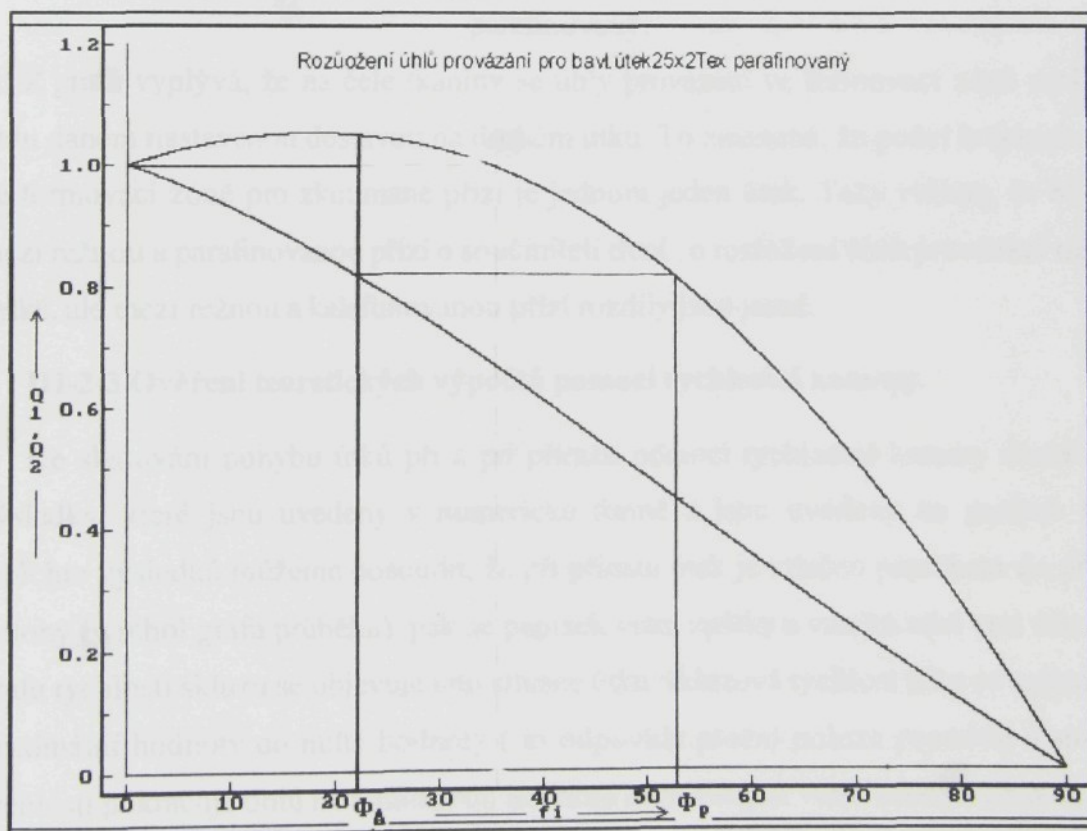


**Graf.III-10-a.** Rozložení úhlů provázání pro bavlněný útek 25x2Tex apretovaný 3% roztokem kalafuny.

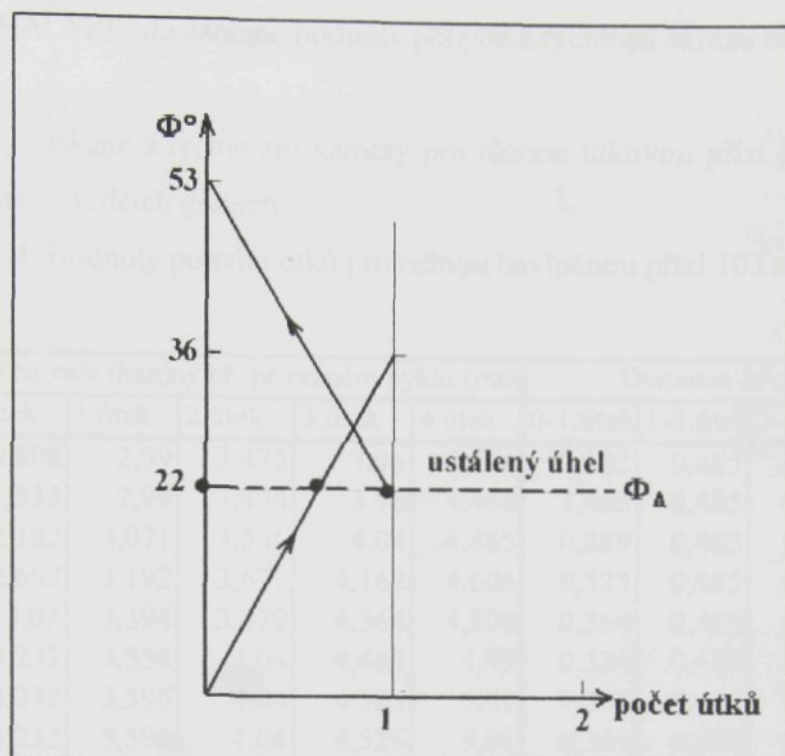




**Graf.III-10-b.** Rozložení vazných úhlů při a po přírazu pro bavlněný útek 25x2Tex apretovaný 3% roztokem kalafuny.



**Graf III-11-a.** Rozložení úhlů provázání pro bavlněný útek 25x2Tex parafinovaný.



**Graf III-11-b.** Rozložení vazných úhlů při a po přírazu pro bavlněný útek 25x2Tex parafinovaný.

Z grafů vyplývá, že na čele tkaniny se úhly provázání ve formovací zóně ustálí na úhlu daném nastavenou dostavou na druhém útku. To znamená, že počet hrajících útků ve formovací zóně pro zkoumané přízi je jednom jeden útek. Taky vidíme, že rozdíly mezi režnou a parafinovanou přízí o součiniteli tření, o rozložení úhlů provázání nejsou velké, ale mezi režnou a kalafunovanou přízí rozdíly jsou jasné.

### III-2-3 Ověření teoretických výpočtů pomocí rychlostní kamery.

Ke sledování pohybu útků při a po přírazu pomocí rychlostní kamery dostáváme výsledky, které jsou uvedeny v numerické formě a jsou uvedeny na grafech III-3. Z těchto výsledků můžeme posoudit, že při přírazu útek je vtlačen paprskem do přední polohy (vrchol grafu průběhu), pak se paprsek vrací zpátky a vzniká také vrat útku. Na grafu rychlosti skluzu se objevuje tato situace útku: skluzová rychlost útku se snižuje od maximální hodnoty do nulté hodnoty (to odpovídá přední poloze paprsku) a snížení rychlosti pokračuje dolů na minusovou hodnotu odpovídající vratu útku po přírazu.

Sledování procesu pohybu útku při a po přírazu je nutné nejen pro nultý útek, ale také pro další útky: první, druhý, třetí útek. Označením sledovaných útků a pomocí

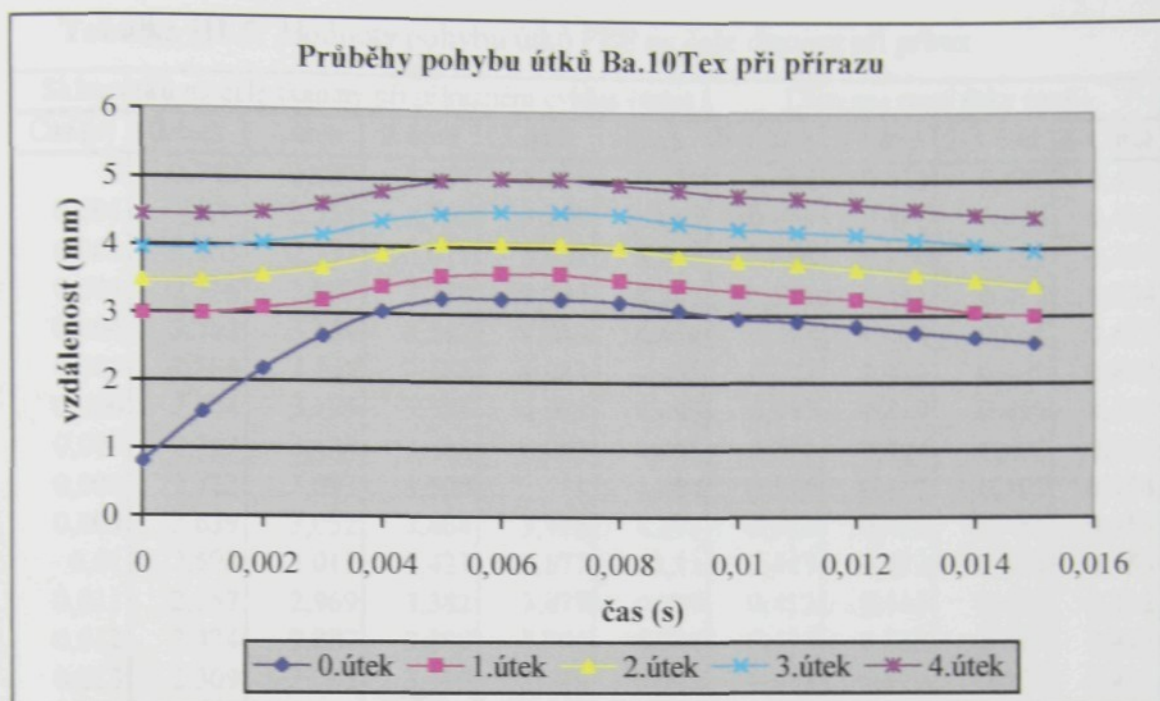


programu ANALYZE dostaneme hodnoty pohybu a rychlosti skluzu během přírazného cyklu.

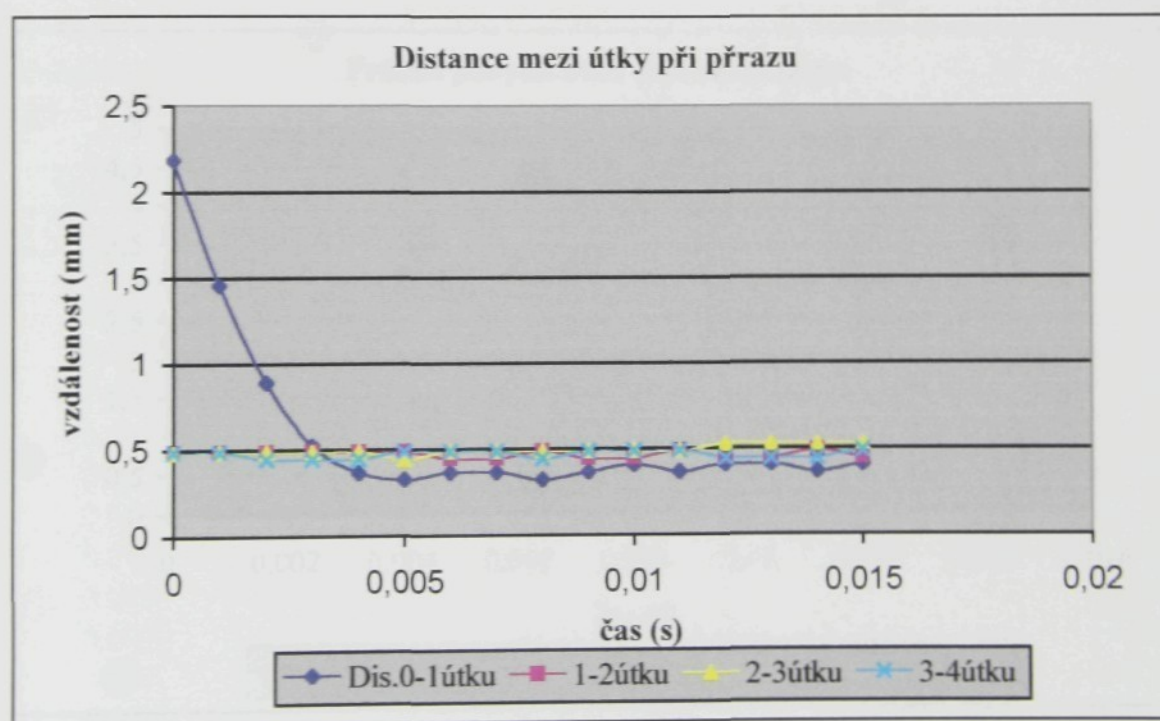
Výsledky získané z rychlostní kamery pro různou útkovou přízi jsou uvedeny na tabulkách a následujících grafech:

**Tabulka III-4.** Hodnoty pohybu útků pro režnou bavlněnou přízi 10Tex

| Skluz útků na čele tkaniny při přírazném cyklu (mm) |        |        |        |        |        | Distance útků (mm) |          |          |          |
|-----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|----------|----------|----------|
| Čas (s)                                             | 0.útek | 1.útek | 2.útek | 3.útek | 4.útek | 0-1.útek           | 1-2.útek | 2-3.útek | 3-4.útek |
| 0                                                   | 0,808  | 2,99   | 3,475  | 3,96   | 4,444  | 2,182              | 0,485    | 0,485    | 0,484    |
| 0,001                                               | 1,535  | 2,99   | 3,475  | 3,96   | 4,444  | 1,455              | 0,485    | 0,485    | 0,484    |
| 0,002                                               | 2,182  | 3,071  | 3,556  | 4,04   | 4,485  | 0,889              | 0,485    | 0,484    | 0,445    |
| 0,003                                               | 2,667  | 3,192  | 3,677  | 4,162  | 4,606  | 0,525              | 0,485    | 0,485    | 0,444    |
| 0,004                                               | 3,03   | 3,394  | 3,879  | 4,364  | 4,808  | 0,364              | 0,485    | 0,485    | 0,444    |
| 0,005                                               | 3,232  | 3,556  | 4,04   | 4,485  | 4,97   | 0,324              | 0,484    | 0,445    | 0,485    |
| 0,006                                               | 3,232  | 3,596  | 4,04   | 4,525  | 5,01   | 0,364              | 0,444    | 0,485    | 0,485    |
| 0,007                                               | 3,232  | 3,596  | 4,04   | 4,525  | 5,01   | 0,364              | 0,444    | 0,485    | 0,485    |
| 0,008                                               | 3,192  | 3,515  | 4      | 4,485  | 4,929  | 0,323              | 0,485    | 0,485    | 0,444    |
| 0,009                                               | 3,071  | 3,434  | 3,879  | 4,364  | 4,848  | 0,363              | 0,445    | 0,485    | 0,484    |
| 0,01                                                | 2,949  | 3,354  | 3,798  | 4,283  | 4,768  | 0,405              | 0,444    | 0,485    | 0,485    |
| 0,011                                               | 2,909  | 3,273  | 3,758  | 4,242  | 4,727  | 0,364              | 0,485    | 0,484    | 0,485    |
| 0,012                                               | 2,828  | 3,232  | 3,677  | 4,202  | 4,646  | 0,404              | 0,445    | 0,525    | 0,444    |
| 0,013                                               | 2,747  | 3,152  | 3,596  | 4,121  | 4,566  | 0,405              | 0,444    | 0,525    | 0,445    |
| 0,014                                               | 2,667  | 3,03   | 3,515  | 4,04   | 4,485  | 0,363              | 0,485    | 0,525    | 0,445    |
| 0,015                                               | 2,586  | 2,99   | 3,434  | 3,96   | 4,444  | 0,404              | 0,444    | 0,526    | 0,484    |



Graf III-12-a. Průběhy skluzu útků Ba.10Tex při přírazném cyklu

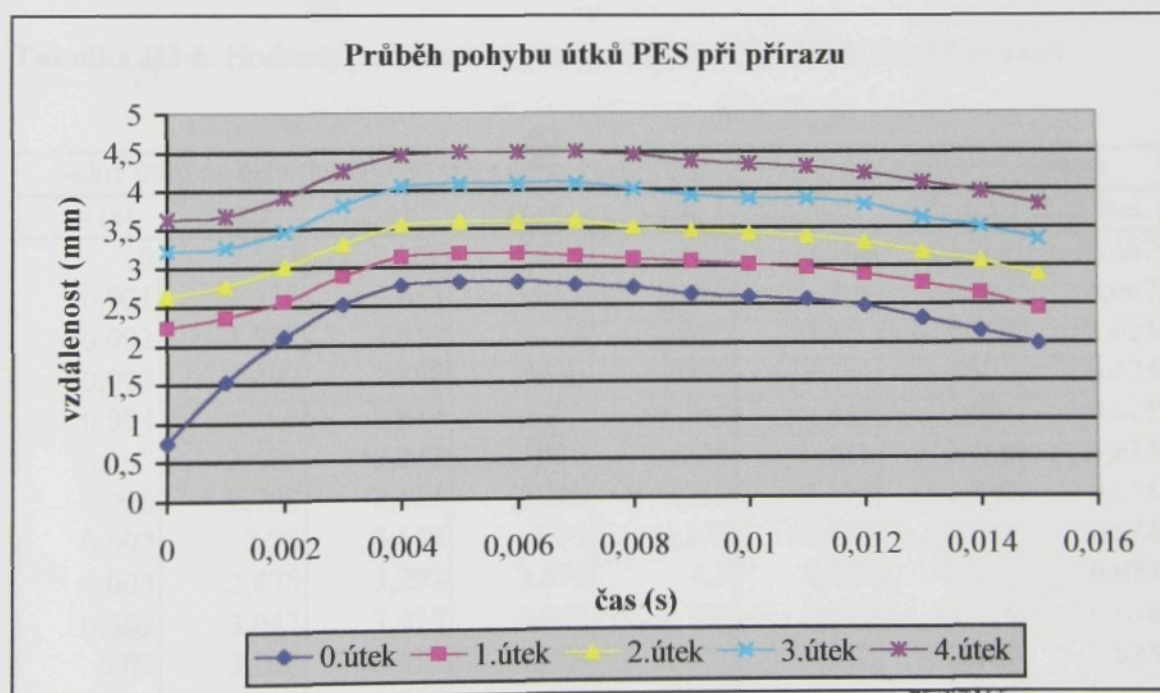


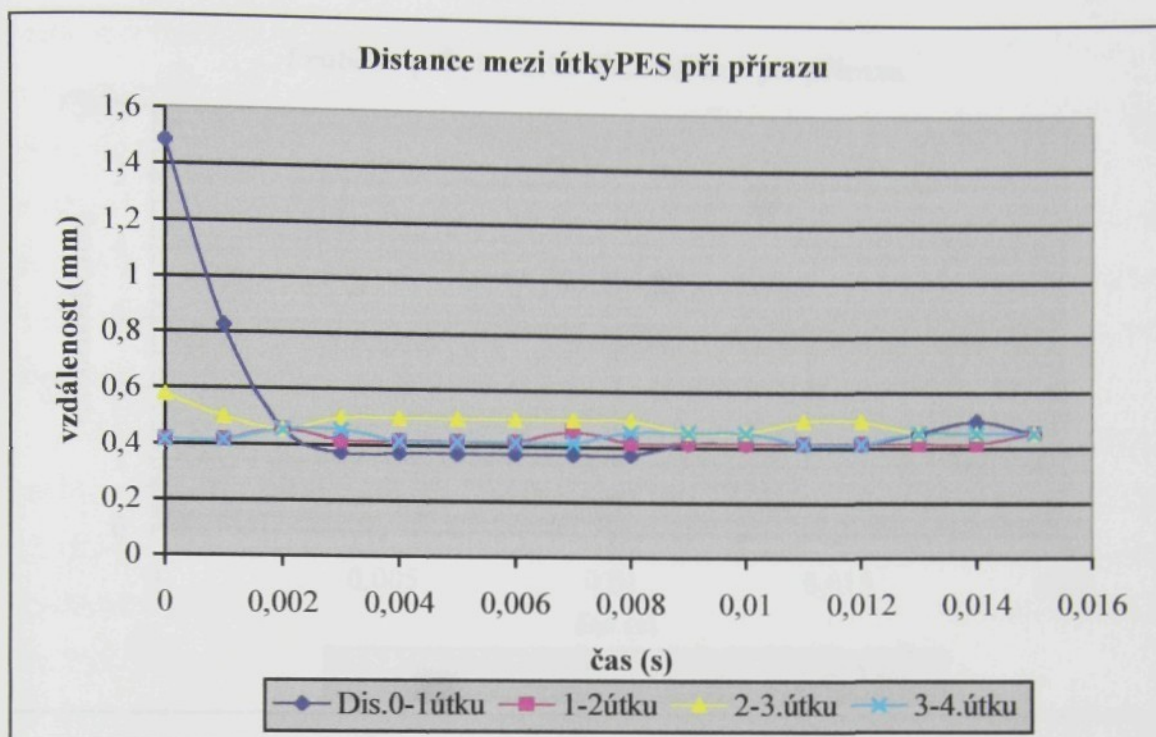
Graf III-12-b. Distance útků Ba.10Tex na čele tkaniny při přírazném cyklu



**Tabulka III-5.** Hodnoty pohybu útků PES na čele tkaniny při příraz

| Skluz útků na čele tkaniny při přírazném cyklus (mm) |        |        |        |        |        | Distance mezi útky (mm) |          |          |          |
|------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|----------|----------|----------|
| Čas (s)                                              | 0.útek | 1.útek | 2.útek | 3.útek | 4.útek | 0-1.útek                | 1-2.útek | 2-3.útek | 3-4.útek |
| 0                                                    | 0,742  | 2,227  | 2,639  | 3,217  | 3,629  | 1,485                   | 0,412    | 0,578    | 0,412    |
| 0,001                                                | 1,526  | 2,351  | 2,763  | 3,258  | 3,67   | 0,825                   | 0,412    | 0,495    | 0,412    |
| 0,002                                                | 2,103  | 2,557  | 3,011  | 3,464  | 3,918  | 0,454                   | 0,454    | 0,453    | 0,454    |
| 0,003                                                | 2,516  | 2,887  | 3,299  | 3,794  | 4,248  | 0,371                   | 0,412    | 0,495    | 0,454    |
| 0,004                                                | 2,763  | 3,134  | 3,547  | 4,042  | 4,454  | 0,371                   | 0,413    | 0,495    | 0,412    |
| 0,005                                                | 2,804  | 3,175  | 3,588  | 4,083  | 4,495  | 0,371                   | 0,413    | 0,495    | 0,412    |
| 0,006                                                | 2,804  | 3,175  | 3,588  | 4,083  | 4,495  | 0,371                   | 0,413    | 0,495    | 0,412    |
| 0,007                                                | 2,763  | 3,134  | 3,588  | 4,083  | 4,495  | 0,371                   | 0,454    | 0,495    | 0,412    |
| 0,008                                                | 2,722  | 3,093  | 3,505  | 4      | 4,454  | 0,371                   | 0,412    | 0,495    | 0,454    |
| 0,009                                                | 2,639  | 3,052  | 3,464  | 3,918  | 4,371  | 0,413                   | 0,412    | 0,454    | 0,453    |
| 0,01                                                 | 2,598  | 3,011  | 3,423  | 3,877  | 4,33   | 0,413                   | 0,412    | 0,454    | 0,453    |
| 0,011                                                | 2,557  | 2,969  | 3,382  | 3,877  | 4,289  | 0,412                   | 0,413    | 0,495    | 0,412    |
| 0,012                                                | 2,474  | 2,887  | 3,299  | 3,794  | 4,206  | 0,413                   | 0,412    | 0,495    | 0,412    |
| 0,013                                                | 2,309  | 2,763  | 3,175  | 3,629  | 4,083  | 0,454                   | 0,412    | 0,454    | 0,454    |
| 0,014                                                | 2,144  | 2,639  | 3,052  | 3,505  | 3,959  | 0,495                   | 0,413    | 0,453    | 0,454    |
| 0,015                                                | 1,98   | 2,433  | 2,887  | 3,34   | 3,794  | 0,453                   | 0,454    | 0,453    | 0,454    |

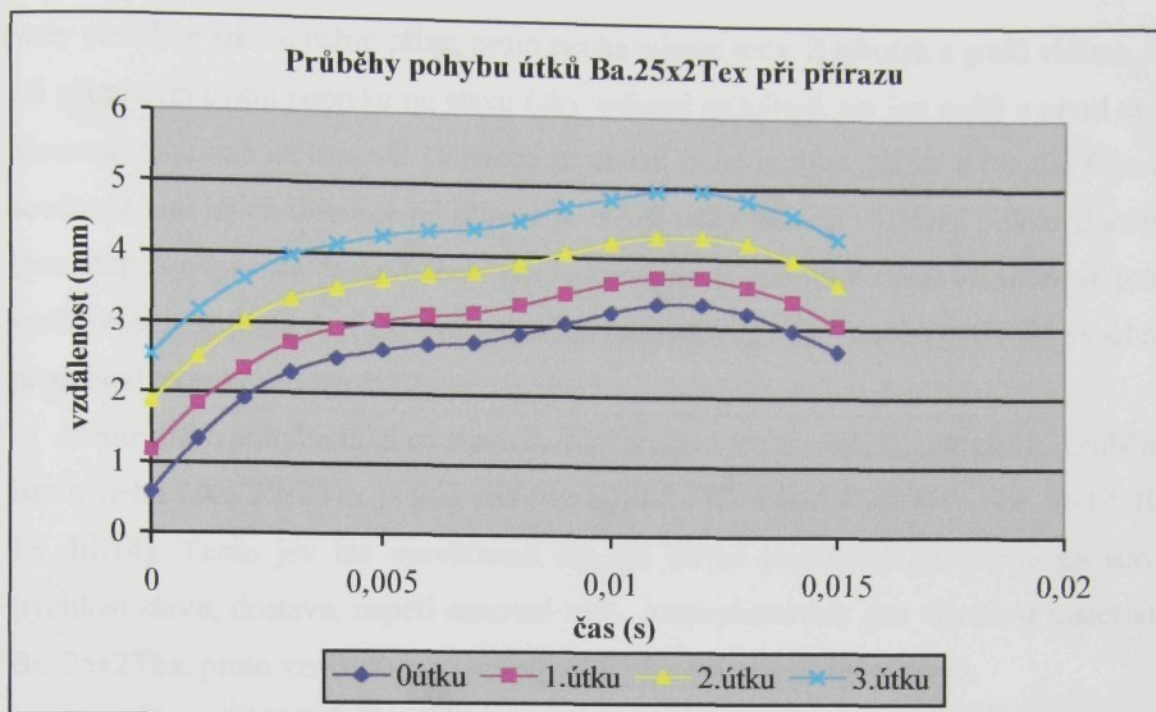

**Graf III-13-a.** Průběhy skluzu útků PES při přírazném cyklu


**Graf III-13-b.** Distance útků PES na čele tkaniny při přírazném cyklu

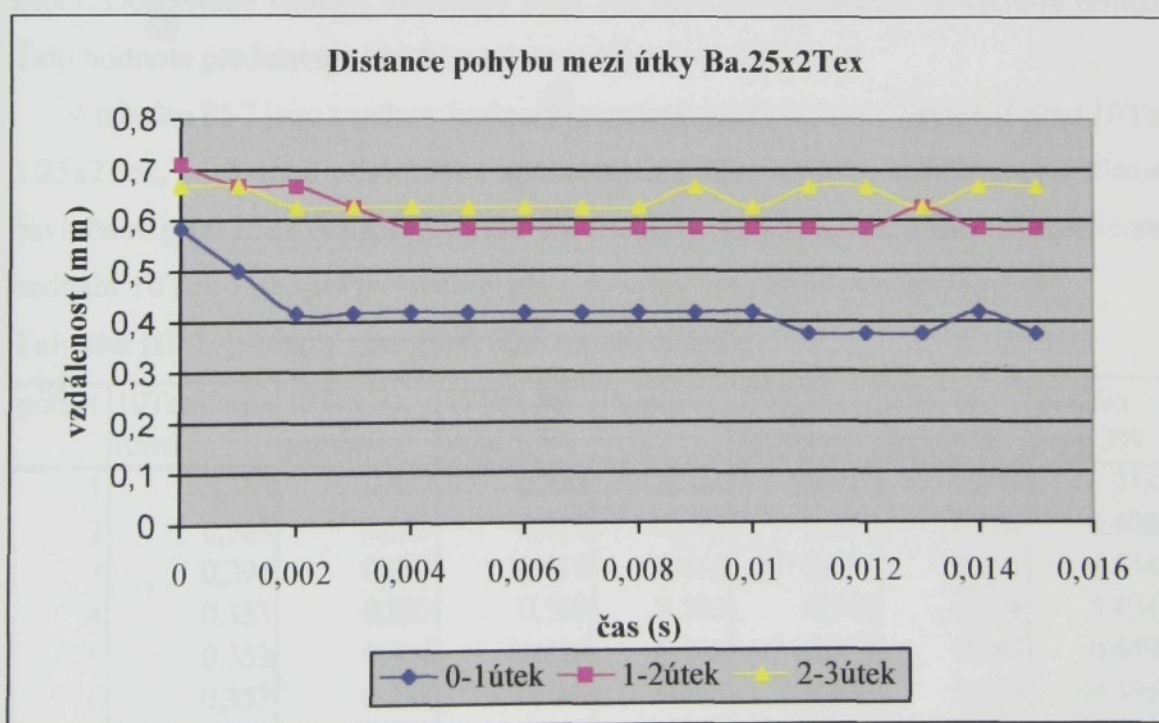
**Tabulka III-6.** Hodnoty pohybu útků pro bavlněnou přízi 25x2 Tex při přírazu

| Skluz útků na čele tkaniny při přírazném cyklu (mm) |        |        |        |        | Distance mezi útky (mm) |          |          |
|-----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|----------|----------|
| Čas (s)                                             | 0.útek | 1.útek | 2.útek | 3.útek | 0-1.útek                | 1-2.útek | 2-3.útek |
| 0                                                   | 0,583  | 1,167  | 1,875  | 2,542  | 0,584                   | 0,708    | 0,667    |
| 0,001                                               | 1,333  | 1,833  | 2,5    | 3,167  | 0,5                     | 0,667    | 0,667    |
| 0,002                                               | 1,917  | 2,333  | 3      | 3,625  | 0,416                   | 0,667    | 0,625    |
| 0,003                                               | 2,292  | 2,708  | 3,333  | 3,958  | 0,416                   | 0,625    | 0,625    |
| 0,004                                               | 2,5    | 2,917  | 3,5    | 4,125  | 0,417                   | 0,583    | 0,625    |
| 0,005                                               | 2,625  | 3,042  | 3,625  | 4,25   | 0,417                   | 0,583    | 0,625    |
| 0,006                                               | 2,708  | 3,125  | 3,708  | 4,333  | 0,417                   | 0,583    | 0,625    |
| 0,007                                               | 2,75   | 3,167  | 3,75   | 4,375  | 0,417                   | 0,583    | 0,625    |
| 0,008                                               | 2,875  | 3,292  | 3,875  | 4,5    | 0,417                   | 0,583    | 0,625    |
| 0,009                                               | 3,042  | 3,458  | 4,042  | 4,708  | 0,416                   | 0,584    | 0,666    |
| 0,01                                                | 3,208  | 3,625  | 4,208  | 4,833  | 0,417                   | 0,583    | 0,625    |
| 0,011                                               | 3,333  | 3,708  | 4,292  | 4,958  | 0,375                   | 0,584    | 0,666    |
| 0,012                                               | 3,333  | 3,708  | 4,292  | 4,958  | 0,375                   | 0,584    | 0,666    |
| 0,013                                               | 3,208  | 3,583  | 4,208  | 4,833  | 0,375                   | 0,625    | 0,625    |
| 0,014                                               | 2,958  | 3,375  | 3,958  | 4,625  | 0,417                   | 0,583    | 0,667    |
| 0,015                                               | 2,667  | 3,042  | 3,625  | 4,292  | 0,375                   | 0,583    | 0,667    |





**Graf III-14-a.** Průběhy skluzu útků ba.25x2Tex při přírazném cyklu



**Graf III-14-b.** Distance útků Ba.25x2Tex na čele tkaniny při přírazném cyklu

Vzhledem k rozdílu koeficientu tření mezi bavlněnou přízí parafinovanou a reznou bavlněnou přízí bylo malé, průběhy jejich skluzů u parafinované příze na čele tkaniny se

staly podobně jako u režné příze, proto neukazujeme tedy. Z tabulek a grafů vidíme, že při přírazném cyklu paprsku na stavu útky zatkané se hýbají, ale jen nultý a první útek klouzáje relativně na osnově. Distance se změní mezi nultým útkem a prvním útkem, současně tato jejich distance po přírazu je menší než rozestup v stálené poloze tkaniny (rozestup A odpovídá dostavě tkaniny). Distance ostatních útků zůstávají skoro stejnou vzdálenost rozestupu A. Toto ověření může konstatovat, že se zhruba potvrdily všechny předchozí teoretické výpočty.

Sledováním pohybu útků na stavu rychlokamerou lze poznat, že tvar křivky průběhu bavlněného útku 25x2Tex je jiný než tvar u útků PES a Ba.10Tex (viz. obr. III-12, III-13, III-14). Tento jev lze vysvětlovat tím, že stejné parametry nastavené na stavu (rychlost stavu, dostava, napětí osnovní nitě...) nevyhovovaly pro vlastnost materiálu Ba. 25x2Tex, proto vznikalo kmitání paprsku jako odezva chování stavu.

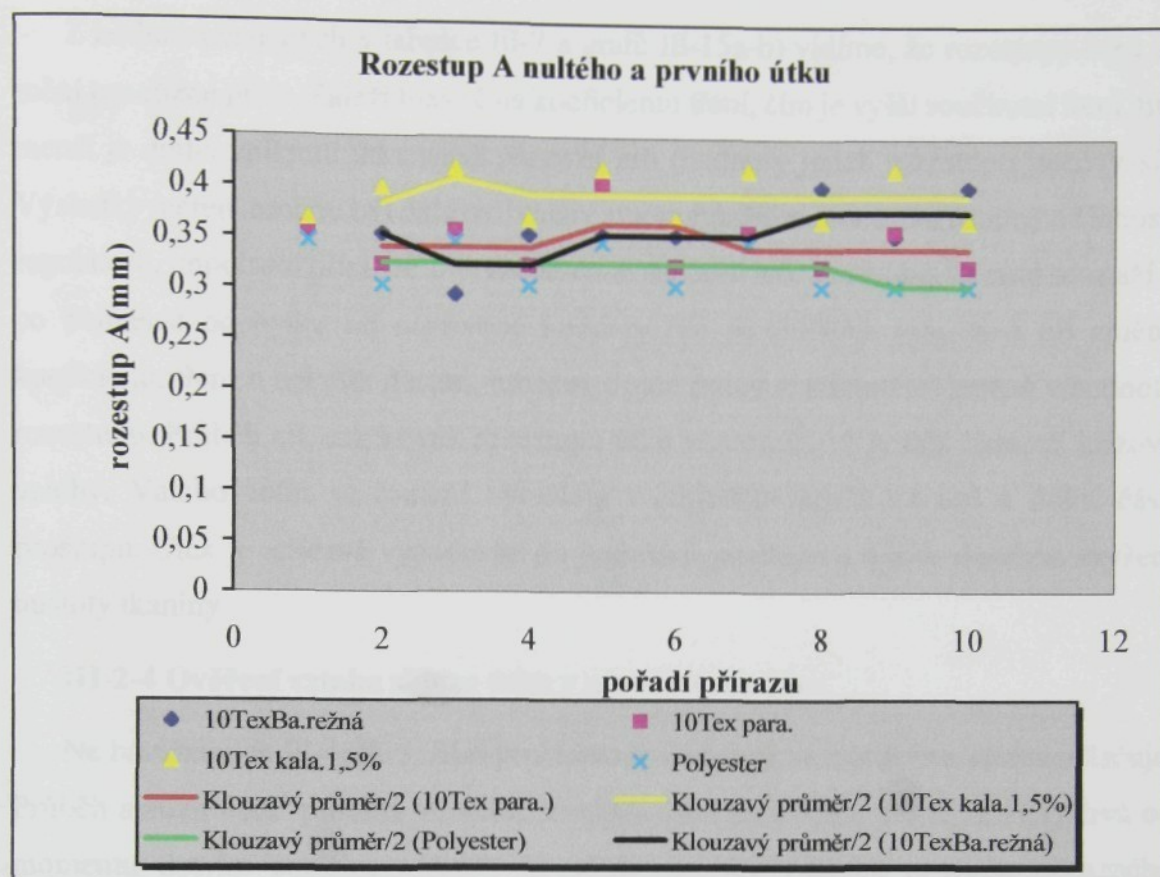
Příze apretovaná kalafunou se velmi dobře zanášela, ale na tkanině vznikaly vlny, způsobené zřejmě špatnou ohebností útkové nitě. Pohyb tohoto útku na stavu je velmi malý a skoro jen nultý útek se posouvá po osnově, rychlostní kamera nemůže chytit celý záběr. Dostáváme jednom rozestupy mezi nultým a prvním útkem ve vrcholu přírazu. Tato hodnota představuje hloubku vtlačení útku do tkaniny.

V tabulce III-7 jsou uvedeny hodnoty rozestupů útků pro režné bavlněné přízi 10Tex a 25x2Tex, bavlněnou přízi 10Tex apretovanou 1,5% roztokem kalafuny a parafinem, bavlněnou přízi 25x2Tex apretovanou 3% roztokem kalafuny a parafinem, Polyesterské hedvábí TdTex 110/36. Pro všechny příze bylo hodnoceno 10 přírazných pulsů.

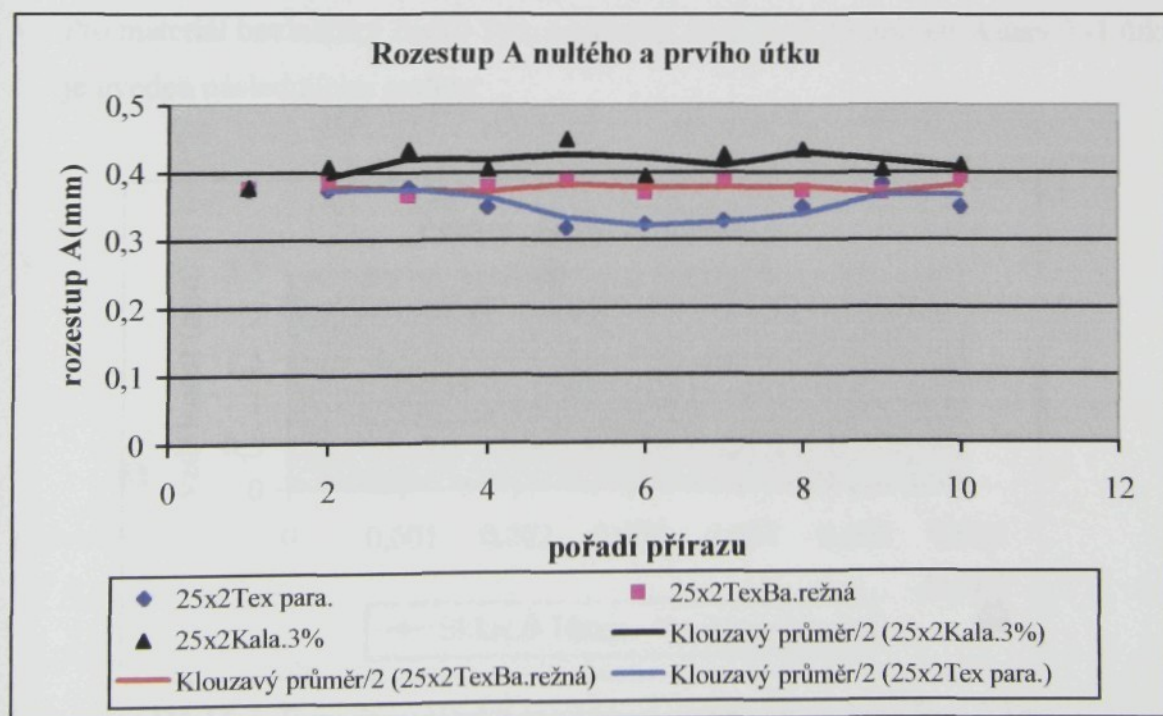
**Tabulka III-7.** Hodnoty rozestupů útků na čele tkaniny

| pořadí | 10TexBavlna<br>rezná | 10Tex Ba.<br>parafinem | 10Tex Ba.<br>kalaf.1,5% | Polyester | 25x2Tex<br>Ba.parafin | 25x2Tex<br>Ba.rezná | 25x2Ba.<br>kalaf.3% |
|--------|----------------------|------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 1      | 0,353                | 0,357                  | 0,368                   | 0,346     | 0,373                 | 0,375               | 0,378               |
| 2      | 0,353                | 0,323                  | 0,399                   | 0,303     | 0,373                 | 0,384               | 0,408               |
| 3      | 0,294                | 0,357                  | 0,418                   | 0,346     | 0,377                 | 0,365               | 0,434               |
| 4      | 0,353                | 0,323                  | 0,368                   | 0,303     | 0,348                 | 0,378               | 0,404               |
| 5      | 0,353                | 0,404                  | 0,418                   | 0,346     | 0,317                 | 0,387               | 0,449               |
| 6      | 0,353                | 0,323                  | 0,368                   | 0,303     | 0,323                 | 0,368               | 0,395               |
| 7      | 0,353                | 0,357                  | 0,418                   | 0,346     | 0,327                 | 0,386               | 0,426               |
| 8      | 0,402                | 0,323                  | 0,368                   | 0,303     | 0,348                 | 0,371               | 0,434               |
| 9      | 0,353                | 0,357                  | 0,418                   | 0,303     | 0,383                 | 0,368               | 0,404               |





Graf III-15-a. Rozestupy útků na čele tkaniny



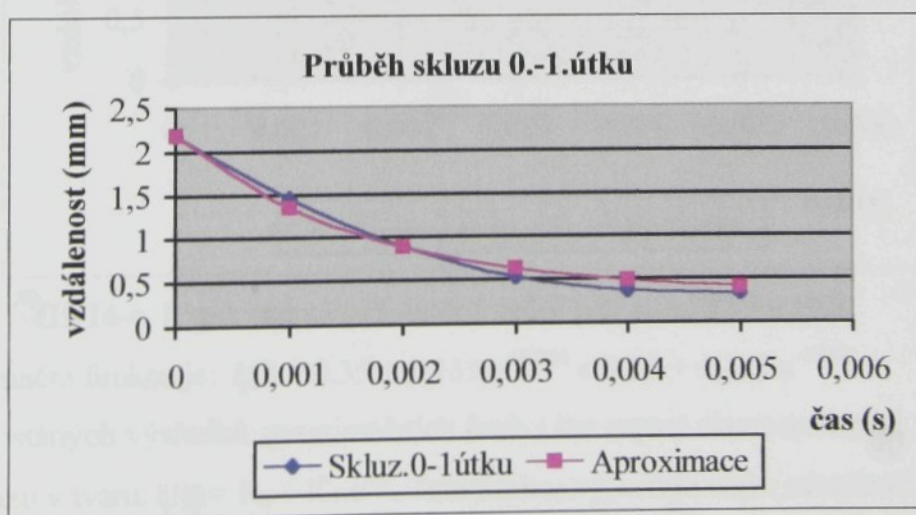
Graf III-15-b. Rozestupy útků na čele tkaniny

Z hodnot uvedených v tabulce III-7 a grafů III-15a-b) vidíme, že rozestupy útků se mění pro různé příze. Zaleží hlavně na koeficientu tření, čím je vyšší součinitel tření, tím menší je dráha vniknutí útku mezi osnovní niti (hodnoty jejich rozestupu jsou vyšší). Výsledky měření mohou být dále ovlivněny autoregulačním procesem tkaniny a činností regulátorů, impulsem přírazné síly, nastavenou dostavu atd. Je zřejmé, že stroj se snaží o co nejmenší odchylku od nastavené hodnoty. To je vidět na tom, že i při změně koeficientu tření o několik desítek procent, dojde pouze k minimální změně v hodnotě rozestupu. Průběh cik-cak křivek rozestupu útku v grafu III-15 je dán činností křížové valchy. Valchováním se rozumí vytváření rozdílného napětí v horní a dolní části prošlupu. Útek je střídavě vytlačován do jiné části prošlupu a tím se dosáhne zvýšení hustoty tkaniny.

### III-2-4 Ověření vztahu skluzu útku v závislosti na čase.

Na bázi tabulek III-4, III-5, III-6 prokázat, že 0.-1. útek se v průběhu přírazu stlačuje. Průběh skluzu útků probíhá ve velmi krátkém čase (cca 0,005 sekund), který trvá od momentu dotyku paprsku s útkem do přední polohy paprsku (vrcholu přírazného průběhu). Skluz pro každý materiál s jiným součinitelem tření má jinou velikost. Z měřených hodnot s používáním propočtu aproximace dostaneme funkci skluzu útků.

- Pro materiál bavlnářský Ba.10 Tex, součinitel tření  $f = 0,33$  průběh skluzu 0.-1. útku je uveden následujícím grafem:

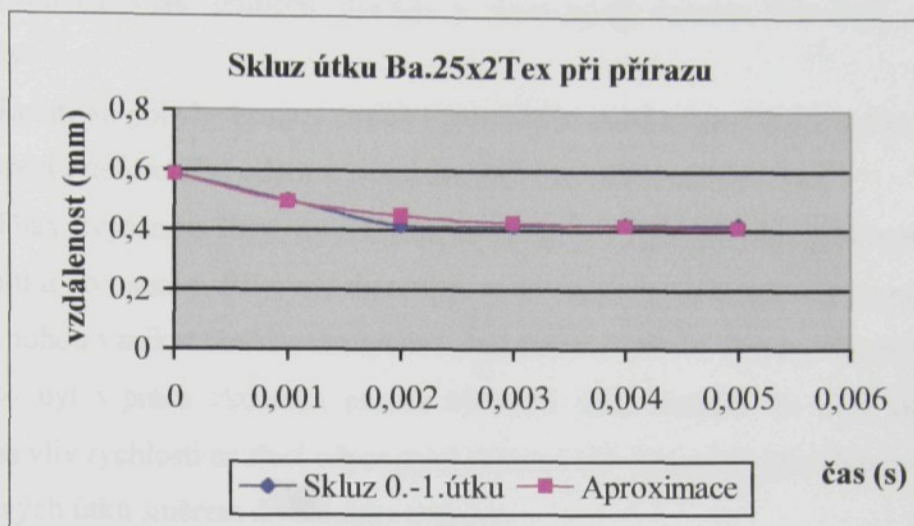


III-16-a. Experimentální a aproximační graf skluzu útku Ba.10 Tex.

Aproximační funkce je:  $\xi(t) = 0,3 + 1,88 \cdot e^{-t/0,0017} \equiv 0,3 + 1,88 \cdot e^{-588,24 \cdot t}$



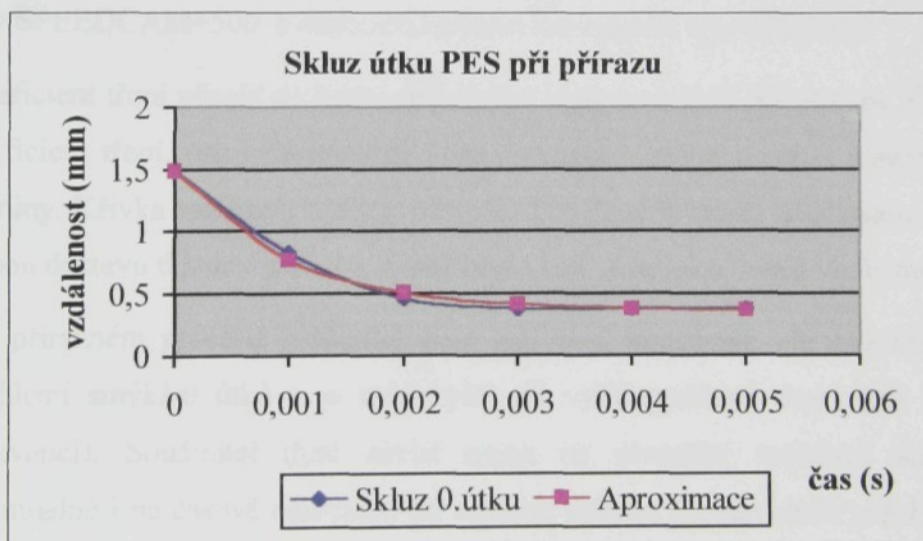
- Pro materiál bavlnářský 25x2 Tex, součinitel tření  $f = 0,34$  dostane průběh skluzu následující graf:



III-16-b. Experimentální a aproximační graf skluzu útku Ba.25x2 Tex.

Aproximační funkce je:  $\xi(t) = 0,4 + 0,184.e^{-t/0,0015} \equiv 0,4 + 0,184.e^{-666,67.t}$

- Pro materiál polyester TdTex 110F36X1, součinitel tření  $f = 0,28$  dostaneme graf:



III-16-c. Experimentální a aproximační graf skluzu útku PES.

Aproximační funkce je:  $\xi(t) = 0,35 + 1,135.e^{-t/0,001} \equiv 0,35 + 1,135.e^{-1000.t}$

Z dostaných výsledků aproximačních funkcí lze napsat obecnou funkci skluzu útku při přírazu v tvaru:  $\xi(t) = K_0 + K_1.e^{-t/\tau}$ . Tato funkce vyjadřuje vztah závislosti skluzu  $\xi$  na čase při přírazu.

#### IV- Závěr a shrnutí výsledků

Rostoucí výkony tkacích strojů nesou s sebou zrychlení jednotlivých funkcí tkacího stroje, zejména však průběhu přírazu a formování tkaniny. Vznikají dva hlavní problémy:

- 1- Relativní pohyby osnovy a útků i přírazných mechanismů jsou rychlé, zvyšuje se třecí i deformační odpor a jsou potřeba vyšší přírazné síly.
- 2- Díky zvýšeném tření vzniká naopak tendence zpomalování relativních pohybů útku po osnově. Při vyšší tkací frekvenci však zbývá kratší čas na posuv útků a mohou vznikat obtíže s dosažením požadované útkové dostavy (hustoty tkaniny).

Proto byl v práci zkoumán proces klouzání útků směrem do čela tkaniny. Byl zkoumán vliv rychlosti na třecí odpor proti skluzu i vliv časových zpoždění mezi pohyby jednotlivých útků směrem do hloubky tkaniny.

Z teoretické analýzy a matematického řešení pohybu útků v přírazné proužce, dále z experimentů a měření koeficientů tření mezi nitmi z různých materiálů, a z praktického ověřování výsledků prováděných teoreticky i experimentálně pomocí vysokorychlostní kamery SPEEDCAM+500 a měřicích zařízení lze vyvodit tyto výsledky:

- Koeficient tření působí na hodnoty průběhu rozložení úhlů při přírazu. Čím je větší koeficient tření, tím jsou strmější úhly provázání resp. tím větší rozestup na čele tkaniny. Křivka rozložení úhlů je strmější. Pro dané hodnoty součinitele tření a pro danou dostavu tkaniny můžeme zjistit počet t.zv „hrajících“ útků ve formovací zóně.
- Při přírazném procesu součinitel tření nití není konstanta, ale ovšem se mění s rychlostí smýkání útků a je tady vyšší při vyšší rychlosti tkaní (při vyšší tkací frekvenci). Součinitel tření závisí nejen na okamžité rychlosti smýkání ale eventuelně i na časové odlehlosti od začátku pohybu (je zanedbán přechodový stav při rozběhu z klidu do pohybu). Z měření rychlostně závislého součinitele tření plyne aproximativní vztah:  $f = f_s + \varphi_k \cdot v(t)$ .
- Hrnutí útků do tkaniny probíhá jako postupně se snižující a zpomalující vlnovité posouvání jednotlivých útků mezi osnovními nitmi. Čím je útek více vzdálen od čela tkaniny, tím je skluz útku menší. Tento pohyb zanikne pro útek ležící hluboko ve tkanině (pokud útky dosáhnou vrcholu svého pohybu).



- Skluzu jednotlivých útků neprobíhají současně, nýbrž s postupnými fázovými zpožděními oproti útku předcházejícímu (viz. obr. II-13).
- Počet hrajících útků ve formovací zóně závisí hlavně na koeficientu tření. Rozestupy útků se mění a závisí rovněž na koeficientu tření; čím je vyšší součinitel tření, tím menší je dráha vniknutí útku mezi osnovní niti, a menší je i počet hrajících útků. Kromě vlivu koeficientu tření jsou rozestupy útků ovlivněny impulsem přírazné síly, nastavenou dostavou, autoregulačním procesem tkaniny atd.

## SUMMARY

Fabric forming represents an important problem in the weaving process at high weaving speeds. It proceeds in the s.c. „forming zone“ of the fabric during the beat-up of weft by the reed. A special phenomenon of this process, the „motion of wefts in the cloth-fell“ is studied and solved in this thesis.

The „cloth fell“ represents the zone in the front area of the fabric close to the reed in which the reed contacts the last inserted weft and pushes it into the fabric and creates here a sort of local thickening of weft density. When the reed consequently backs from the beat-up line there arises a reciprocal process of return of wefts (thinning of weft density except the last one beaten up definitely into the right position in the fabric).

Increasing speed of weaving machines brings along the acceleration of individual functions of the machines, especially of the beat-up course and of fabric forming. There arise two problems:

1. Relative motions of wefts as well as of the beat-up mechanism against the warp are fast. The friction and deformation resistances increase, consequently the beat-up force must increase as well.
2. Between the time course of setting in motion and the course of friction resistance there exists a sort of feedback effect – the processes influence each other: in the state of acceleration the increased friction decelerates the motion velocity; slower acceleration causes lower frictional resistance.

Higher weaving frequency and shorter duration of the beat-up pulse affects the wefts slip into the fabric. There can arise difficulties in reaching the required weft density.

That is why sliding of individual wefts into the cloth fell and the time delay between motions of wefts in the depth of the fabric have been studied in this thesis.

The results obtained from theoretical analyses and mathematical solutions of weft motions in the fabric at the beat-up and after the beat-up, as well as from the experiments and measurements of dynamic frictional coefficients of warps and wefts, were verified on the weaving machine and visualized by the high speed camera SpeedCam+500. Following observations can be deduced from the theories and experiments:



- The coefficient of friction affects values the distribution curves of binding angles during the beat-up. The higher is the coefficient of friction, the steeper are the curves of angles or weft distance in the cloth fell. For all given values of frictional coefficient and given values of density in the fabric it can be estimated how many wefts will be „playing“ (shifting to and fro) in the forming zone.
- During the beat-up process the coefficient of friction is not constant. It changes corresponding to instantaneous sliding velocity of wefts on warp ends. Frictional coefficient weft/warp ends will be generally higher if the weaving velocity (weaving frequency) gets higher. The coefficient of friction depends not only on instantaneous sliding velocities of yarns on each other, but possibly also on the velocity changes in the time (on acceleration  $dv/dt$ ) and also on the time of duration of sliding from its start (the s.c. transition friction).

From measurements of the friction coefficient on sliding velocity and for practical calculations of weft motion in the warp an approximate relation can be written:

$$f = f_s + \phi_k \cdot v(t)$$

- The motion of wefts into the fabric during the beat-up proceeds in the form of waveform shift of a certain number of wefts from the cloth fell into the fabric depth where the total paths of individual wefts exponentially decrease in dependence on the weft distance from the beat-up line. The more distant is the weft from the beat-up line the shorter is its slip.
- The slips of individual wefts do not arise at all the same time, but one by one with some phase shift between them.
- The number of „playing“ wefts (shifting to and fro in the forming zone) depends mainly on the form of the coefficient of friction. The higher are the static as well the dynamic parts of the friction coefficient, the shorter will be the paths of individual wefts slips and the narrower will be the forming zone (the lower will be the number of sliding wefts). Nevertheless the distribution of wefts slips in the forming zone is affected not only by the form of the coefficient of friction but also by the time course and height of the beat-up pulse, by the given density of fabric, and by the auto-control process in the fabric structure after the start of weaving, as it yields from the theory of the beat-up.



## Seznam literatury

- [1] - Sborníky a přehledy z výstavy ITMA 1999, Paříž
- [2] - Greenwood, K.: Relaxation Phenomena in Weaving. J. Text. Inst., No.3, 1957.
- Marschik, C.: Physikalisch Technische Untersuchungen von Gespinsten und Geweben. Vien, 1904.
- Novikov, N. G.: O stroenii i proektipovasii tkani s pomošiu geometričeskogo metoda. Textilnaja promiušenost, No 2-6, 11, 12, 1948.
- Dynnik, S. A.: Obrazovanja elementa tkani. Textilnaja promiušenost, No. 7, 1948.
- Stein, F.: Von Wesen der Tuchlindung, Melliland Textilberichte, No. 12, 1927
- Nosek S.: Teorie tkacího procesu, I díl. Výzkumný ústav bavlnářský Ústí nad Orlicí, 1997-1998.
- [3] - Vecelovková, E.V.: Příčiny trhalosti příze. Textilní průmysl, Moskva, 1948.
- [4] - Belov, V.F.: Uslovía formínovania tkani. Textilnaja promiušenost, Moskva, 1952.
- [5] - Dynnik S.A.: Nauko- isledovatelské trudy. Lehkaja industria, Moskva, 1966
- Dynnik, S.A., Družinina R.D.: Modernizacija lnotkackogo stanka. Gostechizdat, Moskva, 1961.
- [6] - Do, V.V.: Stanovení mezích dostav tkaniny v závislosti na konstrukci tkaniny a silových poměrech při tkání lehkých tkanin na člunkovém stavu K58. Kandidátská práce 1973, VŠST Liberec.
- [7] - Horn, V.: Modelová analýza a syntéza dynamiky tkacího procesu. Kandidátská práce 1968, VŠST Liberec.
- [8] - Medvedeva, G. I.: Značenje siriniu tkani dlja formirovanja jejo na tkaškom stanke. Dissertašia MTI, 1954
- [9] - Aleksejev, K.G.: Issledonanije processa formirovanija tkani. Gizlegprom, Moskva, 1958.
- [10] - Nosek, S.: Cloth forming process. Věda a výzkum v textilním průmyslu VII, st 70-107, VÚV Brno, 1967.
- [11] - Dobrogursky, C.O.: O pribivaniija utka v tkanjach mitkalevogo perepletenia. Sbornik 1, SBTLM, Moskva, 1938.
- [12] - Ovšin, N. K.: Rasionaja zapravka bazi art. 598 na stanke ATC-5. Disseptašia MTI, 1946.



- [13] - Greenwood, K., Cowhig, W.: The Position of the Cloth Fell in Power Looms. J. Text. Inst. Part I- Stable Weaving Conditions- and Part II- Distrubed Weaving Conditions, 1956.
- [14] - Greenwood, K., Vaughan, G.: The beat –up force and pick spacing. Juornal of the Textile Institute No.2, 1957.
- [15] - Greenwood, K., Vaughan, G.: the Position of the Cloth Fell in Power Looms. Part III, Experimental Juornal of the Textile Institute, No.5, 1956.
- [16] - Aleksejev, K. G.: O příčinách vzniku přírazné proužky. Textilní průmysl, č 4 Moskva, 1957.
- [17] - Nosek S.: Teorie tkacího procesu, I díl. Výzkumný ústav bavlnářský Ústí nad Orlicí, 1997-1998.
- [18] - Nosek S.: Teorie tkacího procesu a formování tkaniny, II díl. Výzkumný ústav bavlnářský Ústí nad Orlicí, 1997-1998.
- Nosek S.: Dynamická setkatelnost tkanin. Výzkumná zpráva bavlnářský Ústí nad Orlicí, 1969.
- [19] - Nosek S.: Struktura a geometrie tkanin. Bulletin výzkumný ústav bavlnářský, Ústí nad Orlicí, 1974.
- [20] - Dynnik, S. A., Družinina, R.D.: Modernizacija lnotkackogo stanka. Gostechizdat, Moskva, 1961.
- [21] - Křivohlávek, V.: Otázky vývoje tkací techniky se zřetelem k procesu tvorby tkaniny. Kandidátská disertační práce 1986, VŠST Liberec.
- [22] - Dvořák, J.: Rázové účinky v průběhu přírazného procesu. Habilitační práce, Liberec, 1994.
- [23] - Amontons, G.: Histoire de l'Academie Royale des Sciences avec Mémoires, de Mathématique et de Physique. P.206, Pari, 1699.
- [24] - Coulomb, C.A.: Mémoire de Mathématique et de Physique Royale des Sciences. P.161, Paris, 1788.
- [25] - Vince, S.: Phil. Trans., see Abridged Version 15, 1785.
- Howeell, H. G., Tabor, D.: Friction in Textiles. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [26] - Lincoln, B.: British Journal Application of Physics. London, 1952.
- Howell, H. G. Journal of Textile Institute, 44. London, 1951 and 1953.
- [27] - Bowden, F. P. and Tabor, D.: friction and Lubrication of Solids. Oxford, Clarendon Press, 1954.

- [28] - Thomson, H. M. S. and Speakman, J.B.: Friction of Nature Fibres. London 1946.
- [29] - Makinson, K. R.: Friction of fibres Trans. Faraday Society.44. London 1948.
- [30] - Olofsson, B.: Friction over Extended Lengths. Journ. Text. Research 20, 1950.
- [31] - Howell, H. G.: The Laws of Static Friction. Text. Research Journal 23. London 1953.
- [32] - Rubenstein, C.: Friction of fibres. Journ. Text. Institute 49, 1958.
- [33] - By courtesy of Proc. Roy. Soc., 1956
  - Howell, H. G, Mieszkis, K.W., Tabor, D.: Friction in Textiles. London 1959.
- [34] - Nosek, S.: Teorie tkacího procesu a formování tkaniny. Výzkumný ústav bavlnářský Ústí nad Orlicí, II.část/A, 1997-1998.
  - Bowden, F. P.and Tabor, D.: The Friction and Lubrication of Solids. Clarendon Press, Oxford, 1950.
  - Nosek, S., Duong, T. B.: Vliv tvaru tření na průběhy textilních procesů. Mezinárodní konference „ Textile Science 2000“, Liberec, 2000.
- [35] - Marcer, E. H. and Makinson, K. R.: Journal textile Institute.38, T227, London 1947.
  - Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P.167. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [36] - Olofsson, B. and Gralén, N.: Olofsson and Gralén's stic/slip friction measurement instrument. Courtesy of Textile Research, 1947.
  - Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P.169. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [37] - Pascoe, M. W.and Tabor, D.: Pascoe and Tabor's Friction Measuring Instrument. By courtesy of Proc. Roy. Soc.235, 1956.
  - Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P.171. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [38] - Lindberg, J. and Gralén, N.: Journal of Textile Research 18, London,1948
  - Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P. 178. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [39] - Saxl, I. J.: By Courtesy of J. Franklin Inst. 221, 1936.
  - Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P.190. London Butterworths Scientific Publications, 1959.



- [40] - Morrow, J. A.: Journal of Textile Institute, 22. London 1931.
- Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P.195. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [41] - Nosek, S.: Technical Perspectives of Weaving at The End of 20th Century. Conference INCO Copernicus No ERBIC 15 CT 960711 "Network for Studying of Warp Related Weaving Problems", TU Liberec 1998.
- Nosek, S.: Teorie tkaní I-II. díl. Dům techniky Pardubice, 1988.
- [42] - Olofsson, B.: A General Model of a Fabric as a Geometric-mechanical Structure. Journal of the Textile Institute, No.11, 1964.
- Peirce, F. T.: The geometry of Cloth Structure. Shierley Inst. Mem.XV(1936). Journal of the Textile Institute, No.28, 1937.
- Nosek, S.: Struktura a geometrie tkanin. Knížnice VÚB, Ústí nad Orlicí , 1974.
- [43] - Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D.: Friction in Textiles, P.239-245. London Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [44] - Duong, T. B.: Information on The State of Work on The Topic "Vrat útků na čele tkaniny". Doktorandské dny, TU Liberec 1999.
- Duong, T. B.: Returning of Wefts in the Fabric Forming Zone During and After the Beat-up. 3rd International Conference Novelties in Weaving Research and Technology (INCO Copernicus Project). Maribor- Slovenia 1999.
- [45] - Nosek, S., Duong, T. B.:Vliv tvar tření na průběhy textilních procesů. Mezinárodní konference " Textile Science 2000", Liberec 2000.
- Nosek, S.: Hypothesis on Arise and Effect of Dynamic Friction Between Textile Materials. 3<sup>rd</sup> International Conference Novelties in Weaving Research and Technology (INCO Copernicus Project). Maribor-Slovenia 1999.
- [46] - Nosek, S., Duong, T. B.:Vliv tvar tření na průběhy textilních procesů. Mezinárodní konference " Textile Science 2000", Liberec- Česká republika 2000.
- [47] - Pírko, Z., Veit, J.: Laplaceova transformace. SNTL Praha 1970
- Tabulky L- Transformací.
- [48] - Technická diagnostika, číslo 1/1993. Časopis asociace technických diagnostiků- Zlín.

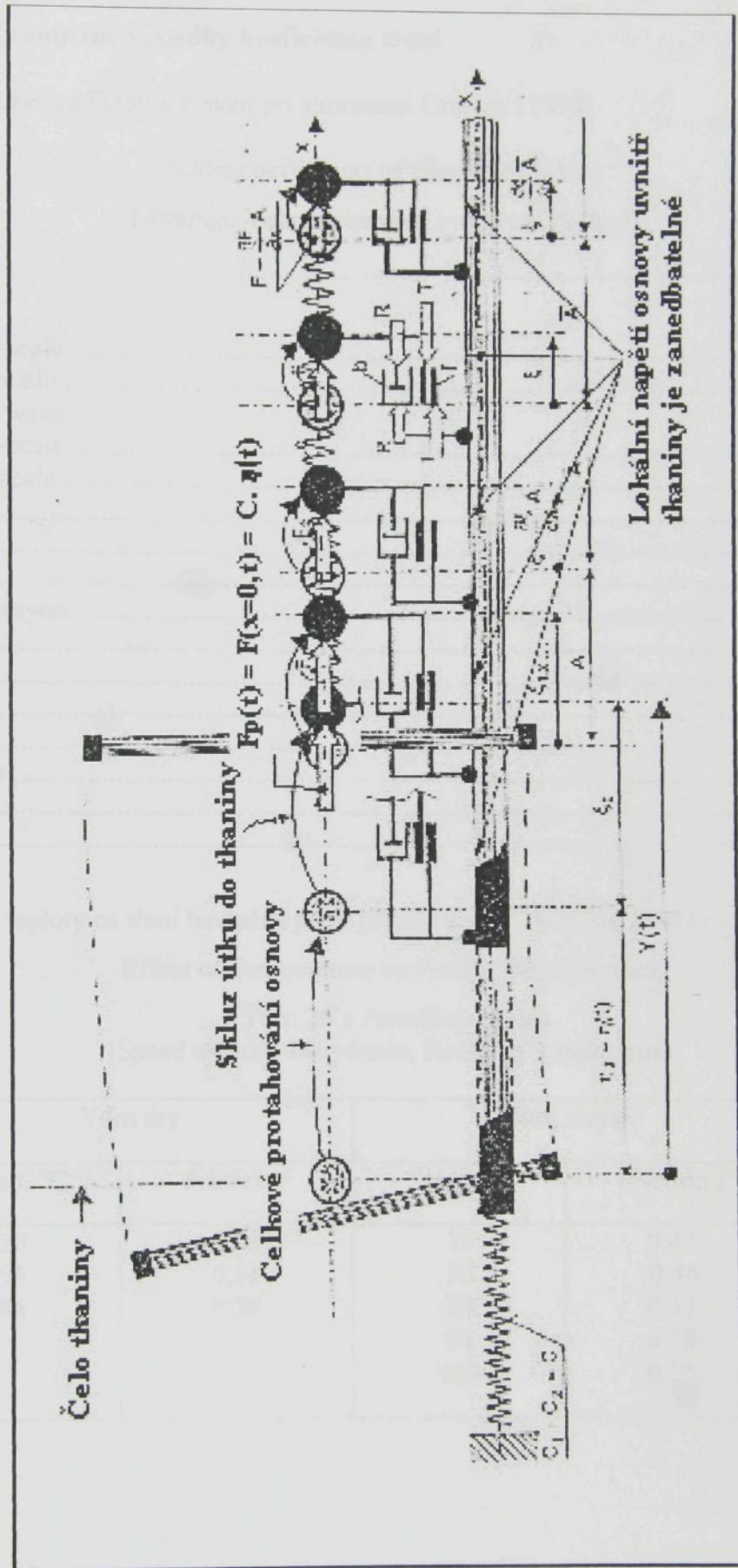
- [49] - Duong, T. B., Brotz, I.: Examining of The Coefficient of Friction of Yarns in Dependence on Sliding Velocity and Material Properties. International Conference "Textile Science 2000", Liberec-Czech republic, 2000.
- [50] - Cvrkal, A.: High Speed Video System – the Step to Overcome Rapid Motions. Contribution, University of Lodž, 1997.

PŘÍLOHA



# PŘÍLOHA

Příloha 1- Dynamický model přírazného procesu





## Příloha 2: Zkoumané výsledky koeficientu tření

- Statické koeficienty vláken při zkoumání Graléna (1950)

Static coefficients of friction of Fibres  
(Average Values obtained by Twist Method)

|                    |      |
|--------------------|------|
| Wool               |      |
| with-scale .....   | 0,11 |
| anti-scale .....   | 0,14 |
| Wool in water      |      |
| with-scale .....   | 0,15 |
| anti-scale .....   | 0,32 |
| Cotton.....        | 0,22 |
| Jute.....          | 0,46 |
| Silk.....          | 0,52 |
| Viscose rayon..... | 0,43 |
| Acetate .....      | 0,56 |
| Casein.....        | 0,46 |
| Nylon.....         | 0,47 |
| Saran .....        | 0,55 |
| Terylene .....     | 0,58 |
| Steel .....        | 0,29 |

- Vliv teploty na tření bavlněné příze při zkoumání Morrowa (1931)

Effect of Temperature on Cotton Yarn Friction  
(Yarn 20's American twist)  
(Speed approx. 140yd/min, Krumme's apparatus)

| Yarn dry |            | Yarn moist |            |
|----------|------------|------------|------------|
| Temp. °C | Friction f | Temp. °C   | Friction f |
| 20       | 0,34       | 19         | 0,43       |
| 55       | 0,31       | 50         | 0,44       |
| 86       | 0,29       | 87         | 0,33       |
|          |            | 91         | 0,28       |
|          |            | 100        | 0,25       |

- Vliv vlhkosti na tření bavlněné příze při zkoumání Morrowa (1931)

Effect of Moisture on the Friction of Cotton Yarn  
Capstan Method. Running Yarn Against Stationary Cylinder  
(Yarn 20's American twist, against steel)  
(Speed approx. 65 yd/min Temp between 20 and 21°C)

| Regain % | Friction f | Regain % | Friction f | Regain % | Friction f |
|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| 1,6      | 0,242      | 5,1      | 0,262      | 9,6      | 0,297      |
| 1,8      | 0,240      | 6,2      | 0,270      | 10,0     | 0,300      |
| 3,3      | 0,250      | 7,2      | 0,282      | 10,5     | 0,317      |
| 4,0      | 0,255      | 8,0      | 0,289      | 10,8     | 0,325      |
| 4,2      | 0,252      | 8,6      | 0,297      | 12,3     | 0,342      |

- Vliv kontaktního materiálu s přízí na tření při zkoumání Buckle a Pollitta (1948)

Effect of Yarn/material Combination. Capstan Method. Running Yarn Against  
Stationary Cylinder.

(Winding speed 79 yd/min; innitial tension, approx. 25g; room temperature  $70 \pm 2^\circ\text{F}$ ;  
relative humidity  $65 \pm 2\%$ )

| Yarn description                | Coefficient of friction        |                                         |                                     |                                          |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
|                                 | Hard steel<br>radius<br>0,5 in | Porcelain<br>guide<br>radius<br>0,37 in | Fibre<br>pulley<br>radius<br>0,2 in | Ceramic<br>insulator<br>radius<br>0,1 in |
| Viscose rayon "bright" 300 den. | 0.39                           | 0.43                                    | 0.36                                | 0.30                                     |
| Viscose rayon "bright" 200 den. | 0.37                           | 0.43                                    | 0.40                                | 0.31                                     |
| Viscose rayon "bright" 150 den. | 0.37                           | 0.46                                    | 0.32                                | 0.30                                     |
| Acetate rayon "bright" 250 den. | 0.38                           | 0.38                                    | 0.19                                | 0.20                                     |
| Acetate rayon "dull" 300 den.   | 0.30                           | 0.29                                    | 0.20                                | 0.22                                     |
| Grey cotton 32's/5              | 0.29                           | 0.32                                    | 0.23                                | 0.24                                     |
| Nylon (untreated) 70 den.       | 0.32                           | 0.43                                    | 0.20                                | 0.19                                     |
| Line thread                     | 0.27                           | 0.29                                    | 0.19                                | -                                        |



### Příloha 3- Výpočet rozložení úhlů provázání a změny rozestupu A

A- Program propočtu rozložení úhlů v Famulusu

+----- MODEL: ROZPES.FM -----

```
Výpočet rozložení úhlů na čele tkaniny
----- proměnné, konstanty, procedury a funkce -----
f=0.28
----- počáteční hodnoty -----
fi=0
dfi=0.01
----- model -----
fir=pi*fi/180
Q1=cos(fir)*exp(f*fir)
Q2=cos(fir)*exp(-f*fir)
fi=fi+dfi
IF fi>90 THEN STOP END;
```

+----- MODEL: ROZBK25.FM -----

```
Výpočet rozložení úhlů na čele tkaniny
----- proměnné, konstanty, procedury a funkce -----
f=0.68
----- počáteční hodnoty -----
fi=0
dfi=0.01
----- model -----
fir=pi*fi/180
Q1=cos(fir)*exp(f*fir)
Q2=cos(fir)*exp(-f*fir)
fi=fi+dfi
IF fi>90 THEN STOP END;
```

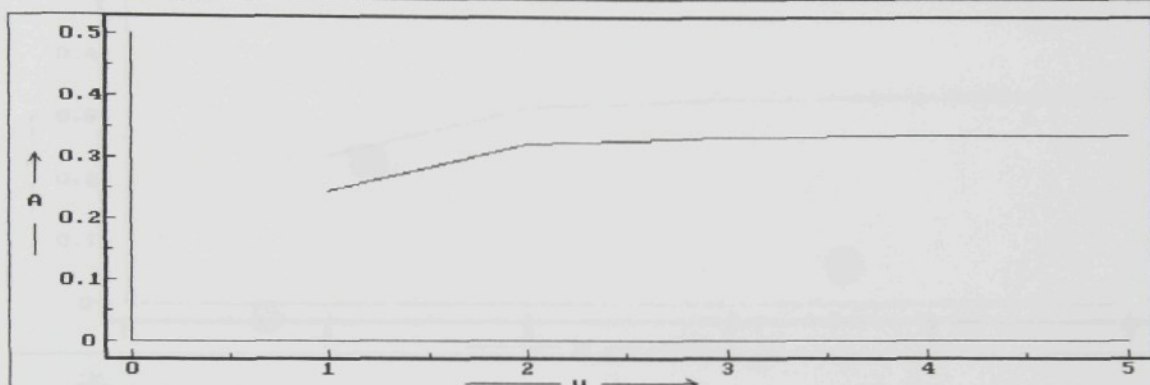
# B- Program a graf změny rozestupu A jednotlivých útků na čele tkaniny

- Pro řeznou bavlněnou přízi 10Tex

```

=====
-- -- -- -- -- proměnné, konstanty, procedury a funkce -- -- -- -- --
d=0.146
dfi=0.0001
-- -- -- -- -- počáteční hodnoty -- -- -- -- --
fi=0
fim=0
u=0
-- -- -- -- -- model -- -- -- -- --
fi=fi+dfi
y=cos(fi)
x=exp(-0.33*(fi+fim))
IF y<x THEN
  fim=fi
  fi=0
  u=u+1
  A=2*d*sin(fi)+(2*d*(1-cos(fi))*cos(fi)/sin(fi))
  fir=fir+180/pi
END
IF u>5 THEN STOP END

```

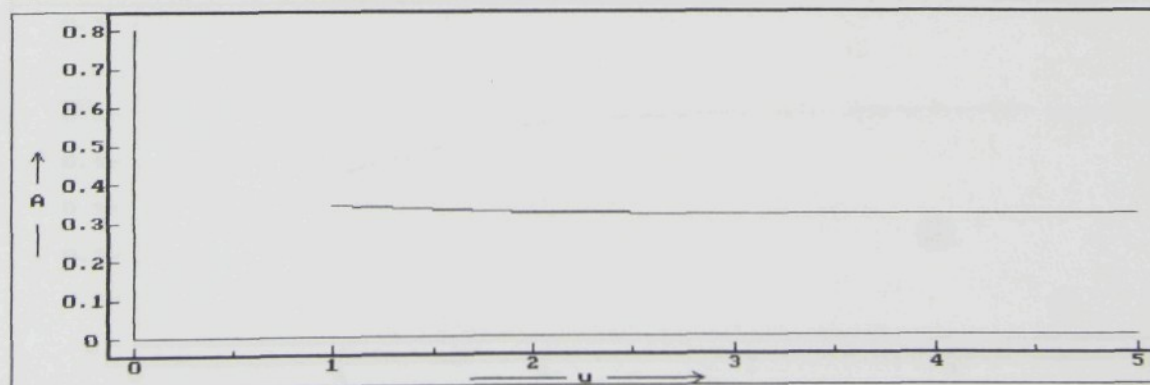


- pro bavlněnou přízi 10Tex kalafunovanou

```

=====
-- -- -- -- -- proměnné, konstanty, procedury a funkce -- -- -- -- --
d=0.146
dfi=0.0001
-- -- -- -- -- počáteční hodnoty -- -- -- -- --
fi=0
fim=0
u=0
-- -- -- -- -- model -- -- -- -- --
fi=fi+dfi
y=cos(fi)
x=exp(-0.795*(fi+fim))
IF y<x THEN
  fim=fi
  fi=0
  u=u+1
  A=2*d*sin(fi)+(2*d*(1-cos(fi))*cos(fi)/sin(fi))
  fir=fir+180/pi
END
IF u>5 THEN STOP END

```



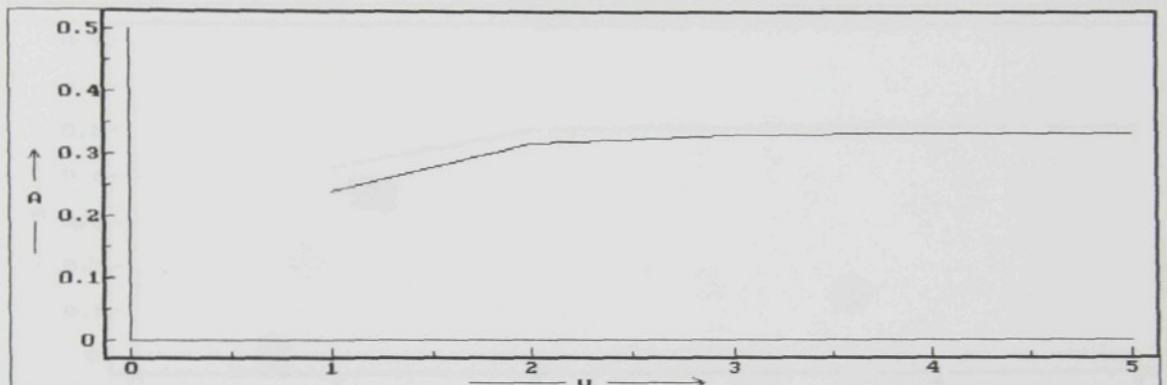


- pro bavlněnou přízi 10Tex parafinovanou

```

----- proměnné, konstanty, procedury a funkce -----
d=0.146
dfi=0.0001
----- počáteční hodnoty -----
fi=0
fim=0
u=0
----- model -----
fi=fi+dfi
y=cos(fi)
x=exp(-0.32*(fi+fim))
IF y<x THEN
  fim=fi
  fi=0
  u=u+1
  A=2*d*sin(fim)+(2*d*(1-cos(fim))*cos(fim))/sin(fim)
  fir=fim*180/pi
END
IF u>5 THEN STOP END

```

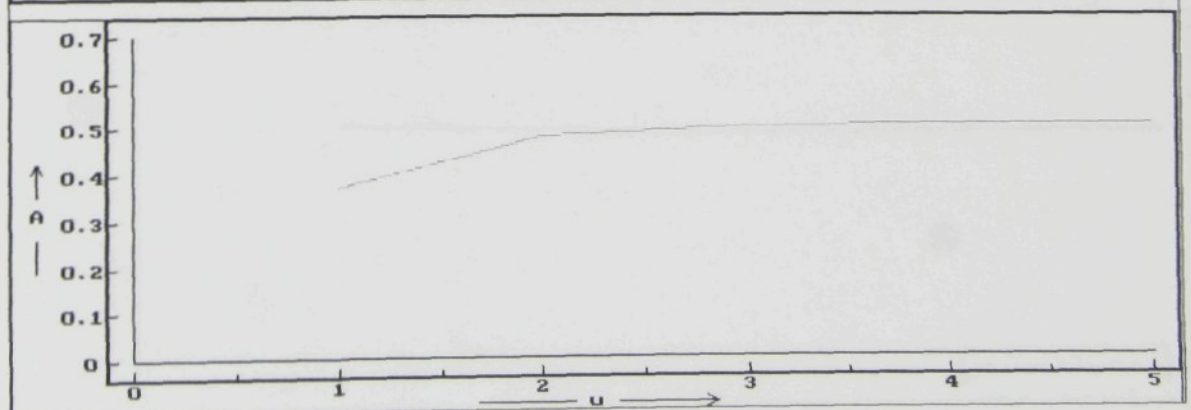


- pro řeznou bavlněnou přízi 25x2Tex

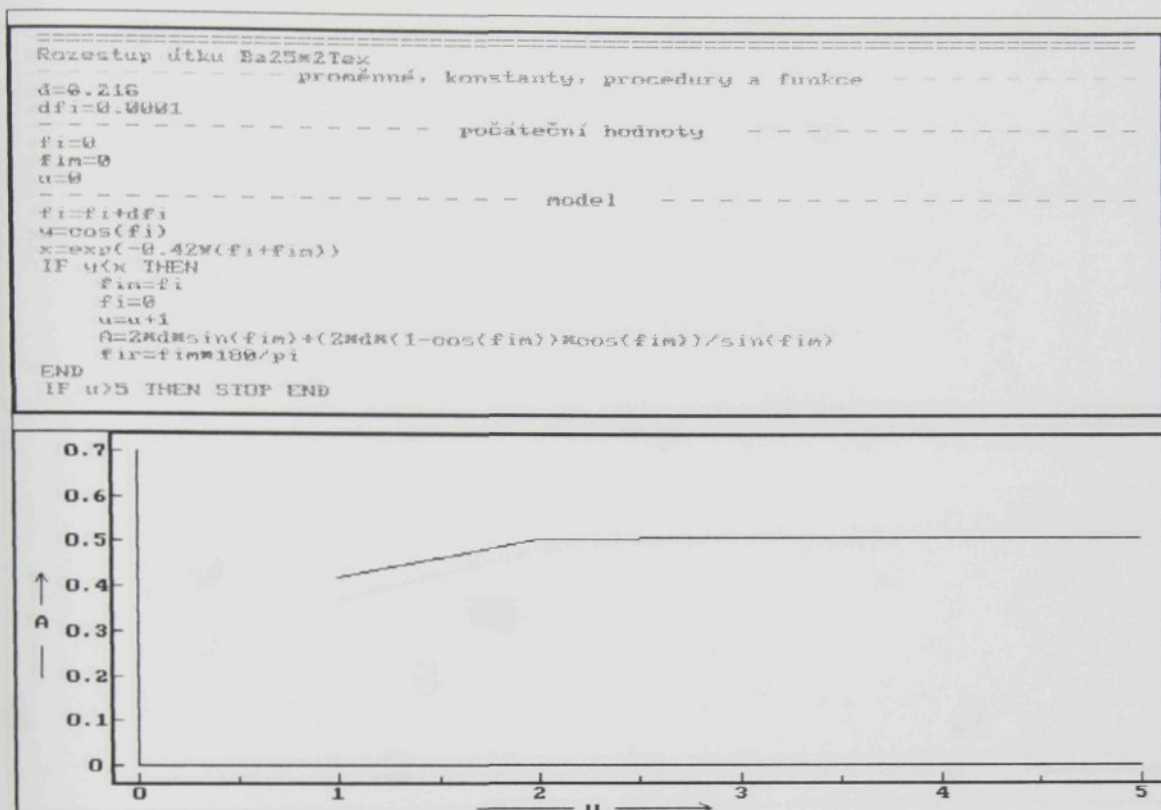
```

----- Rozestup útku Ba25x2Tex -----
----- proměnné, konstanty, procedury a funkce -----
d=0.218
dfi=0.0001
----- počáteční hodnoty -----
fi=0
fim=0
u=0
----- model -----
fi=fi+dfi
y=cos(fi)
x=exp(-0.34*(fi+fim))
IF y<x THEN
  fim=fi
  fi=0
  u=u+1
  A=2*d*sin(fim)+(2*d*(1-cos(fim))*cos(fim))/sin(fim)
  fir=fim*180/pi
END
IF u>5 THEN STOP END

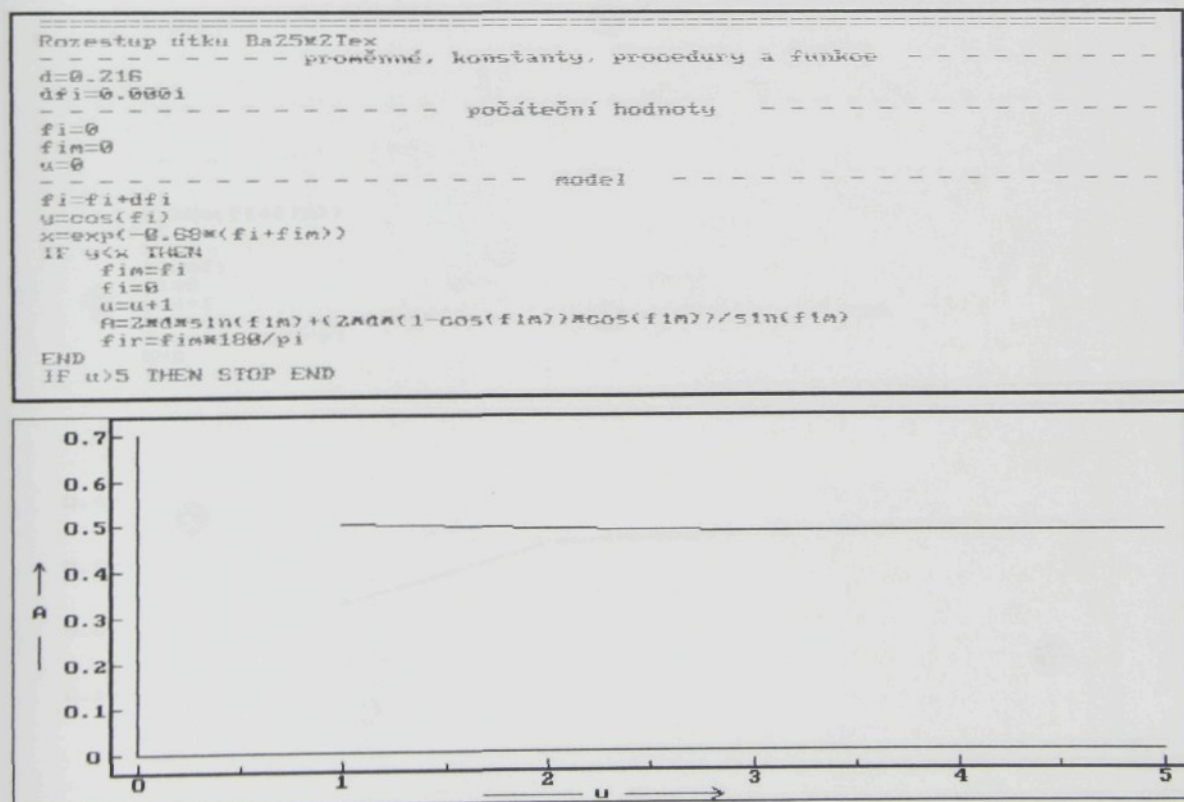
```



- pro bavlněnou přízi 25x2Tex kalafunovanou 1%



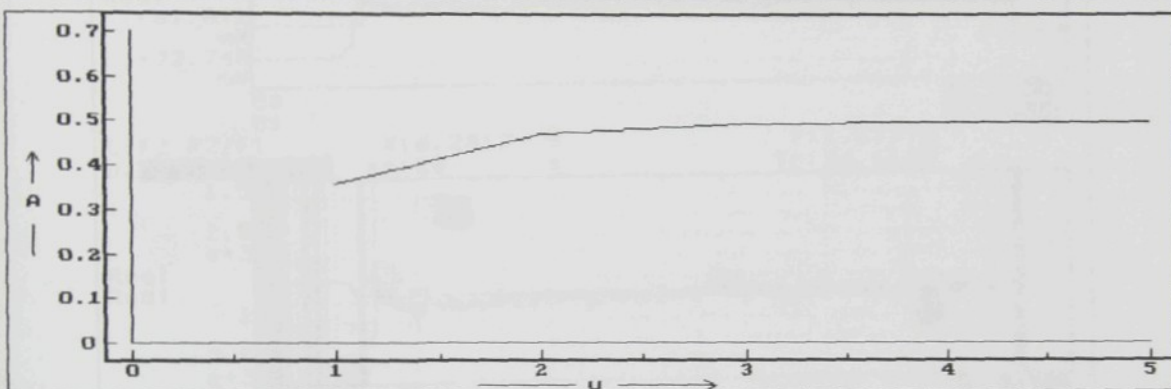
- pro bavlněnou přízi 25x2Tex kalafunovanou 3%





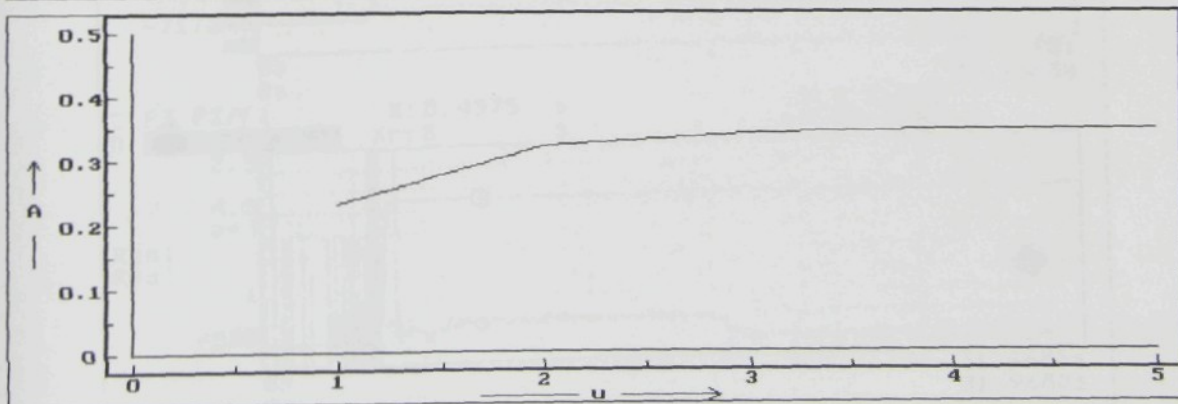
- pro bavlněnou přízi 25x2Tex parafinovanou

```
=====
Rozestup útku Ba25*2Tex
-----
d=0.216      ----- proměnné, konstanty, procedury a funkce -----
dfi=0.0001
-----
fi=0          ----- počáteční hodnoty -----
fim=0
u=0
-----
model
-----
fi=fi+dfi
y=cos(fi)
x=exp(-0.325*(fi+fim))
IF u<u THEN
    fim=fi
    fi=0
    u=u+1
    A=2*d*y*sin(fim)+(2*d*(1-cos(fim))*cos(fim))/sin(fim)
    fir=fim*180/pi
END
IF u>5 THEN STOP END
```



- pro polyesterovou nit'

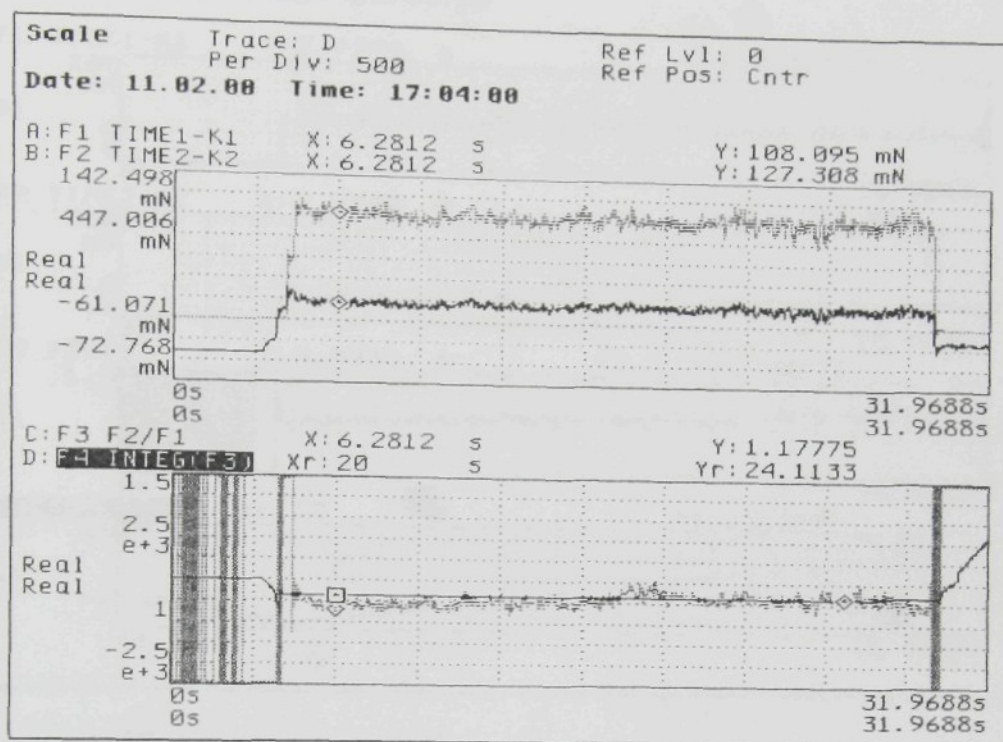
```
=====
Rozestup útku
-----
d=0.156      ----- proměnné, konstanty, procedury a funkce -----
dfi=0.0001
-----
fi=0          ----- počáteční hodnoty -----
fim=0
u=0
-----
model
-----
fi=fi+dfi
x=exp(-0.28*(fi+fim))
y=cos(fi)
IF u<u THEN
    fim=fi
    fi=0
    u=u+1
    A=2*d*y*sin(fim)+(2*d*(1-cos(fim))*cos(fim))/sin(fim)
    fir=fim*180/pi
END
IF u>5 THEN STOP END
```



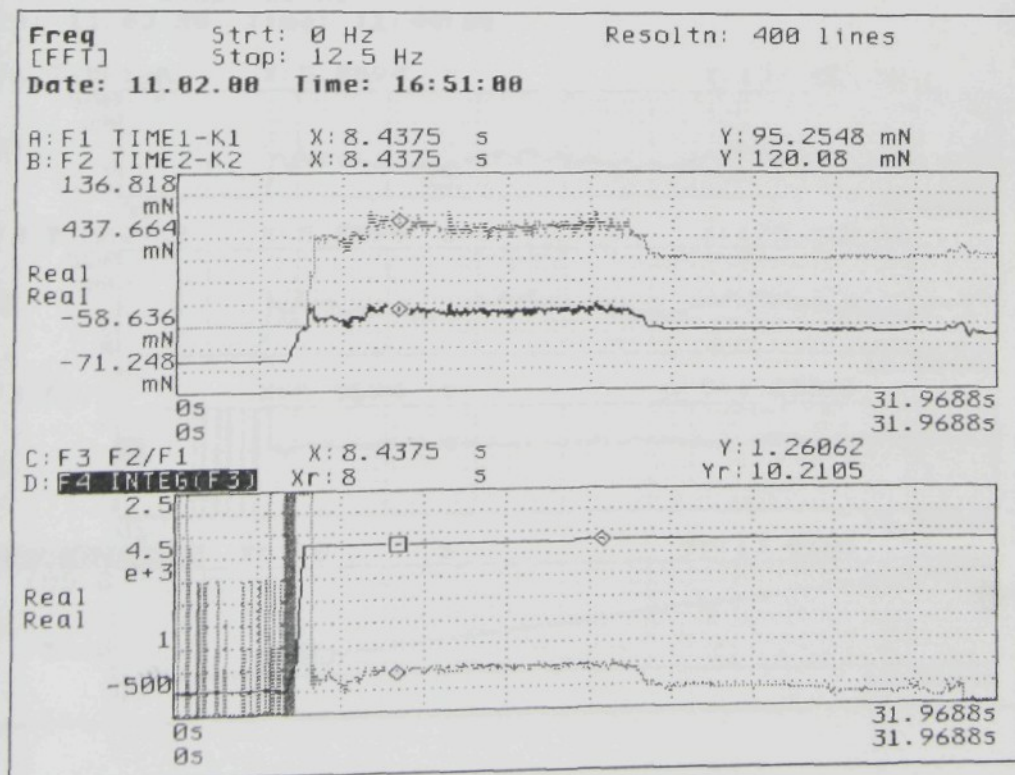
# Příloha 4. Měření koeficientu tření – grafy

## A- Bavlná10Tex řezná příze:

- pohybová rychlost  $0,01 \text{ m.s}^{-1}$

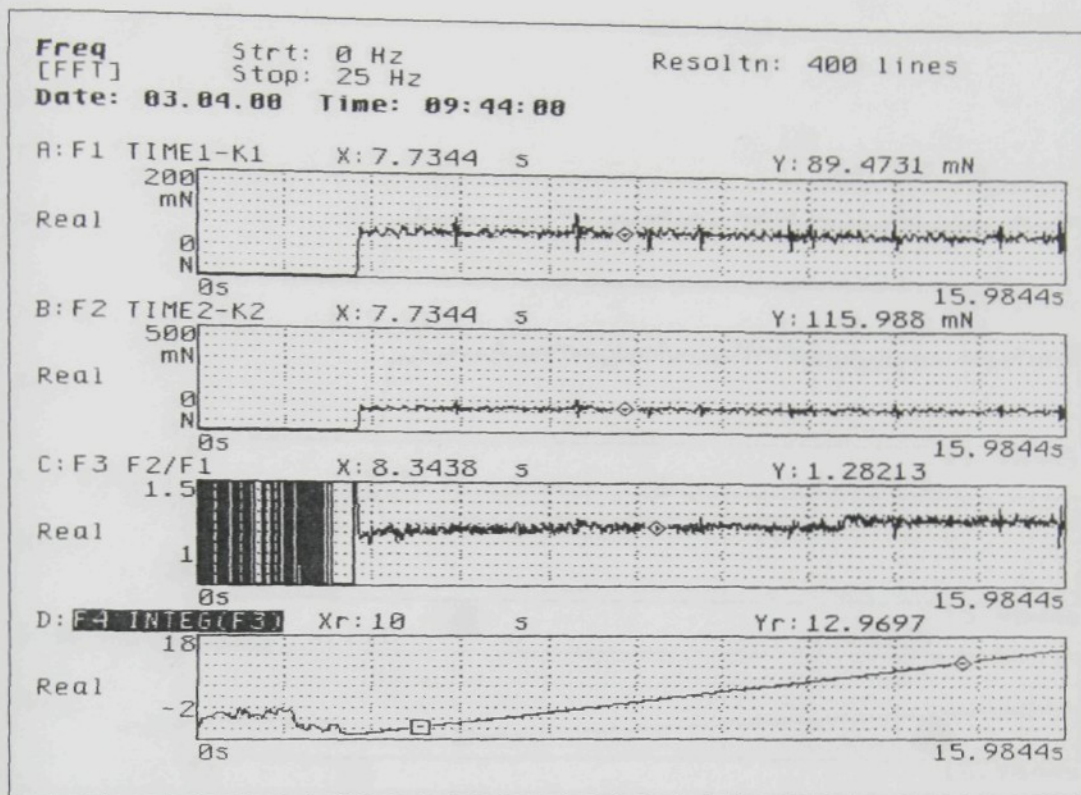


- pohybová rychlost  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$

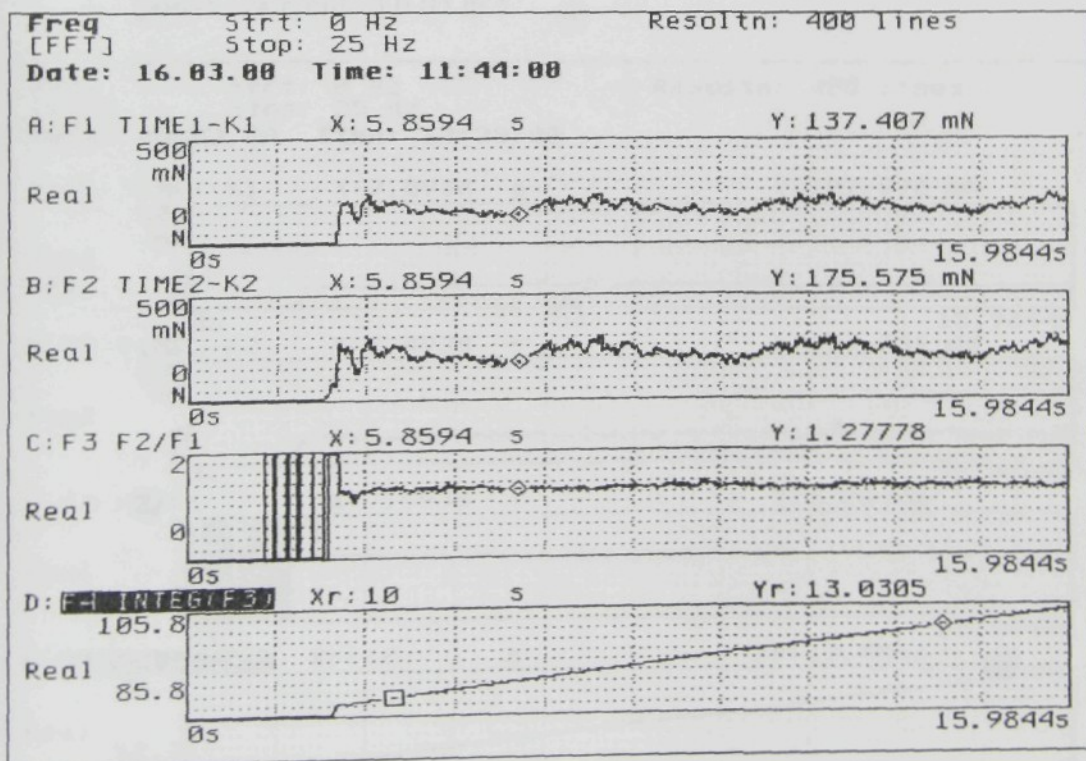




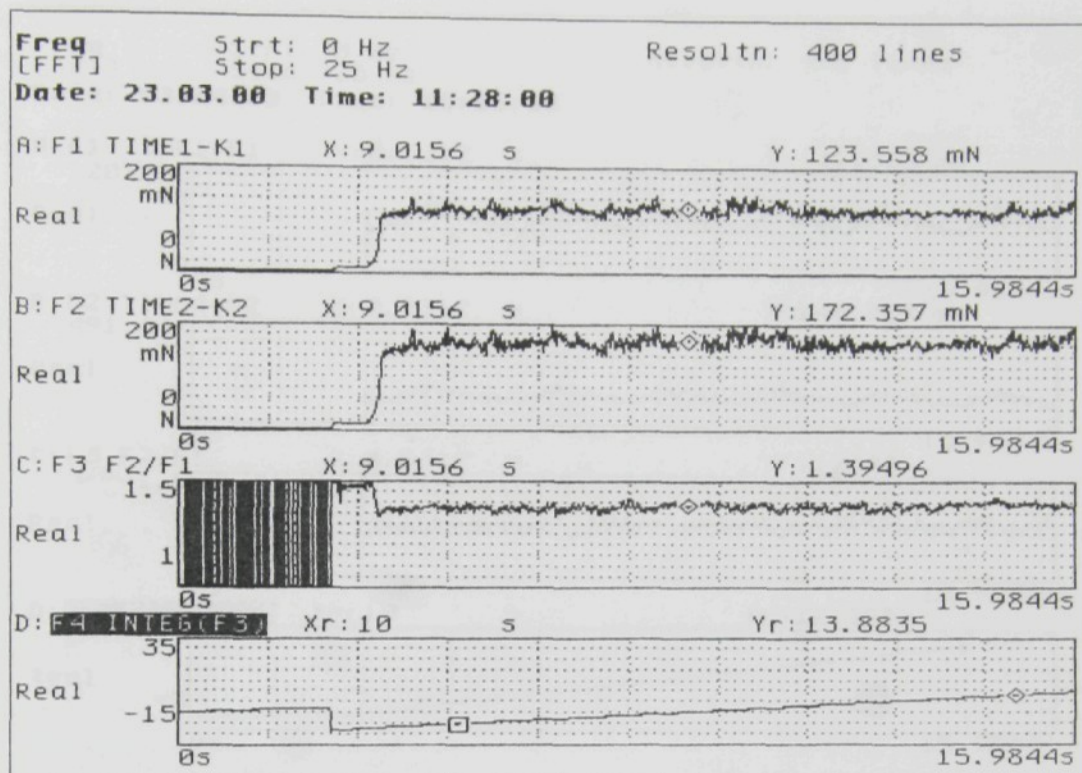
- pohybová rychlost  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$



- pohybová rychlost  $0,77 \text{ m.s}^{-1}$

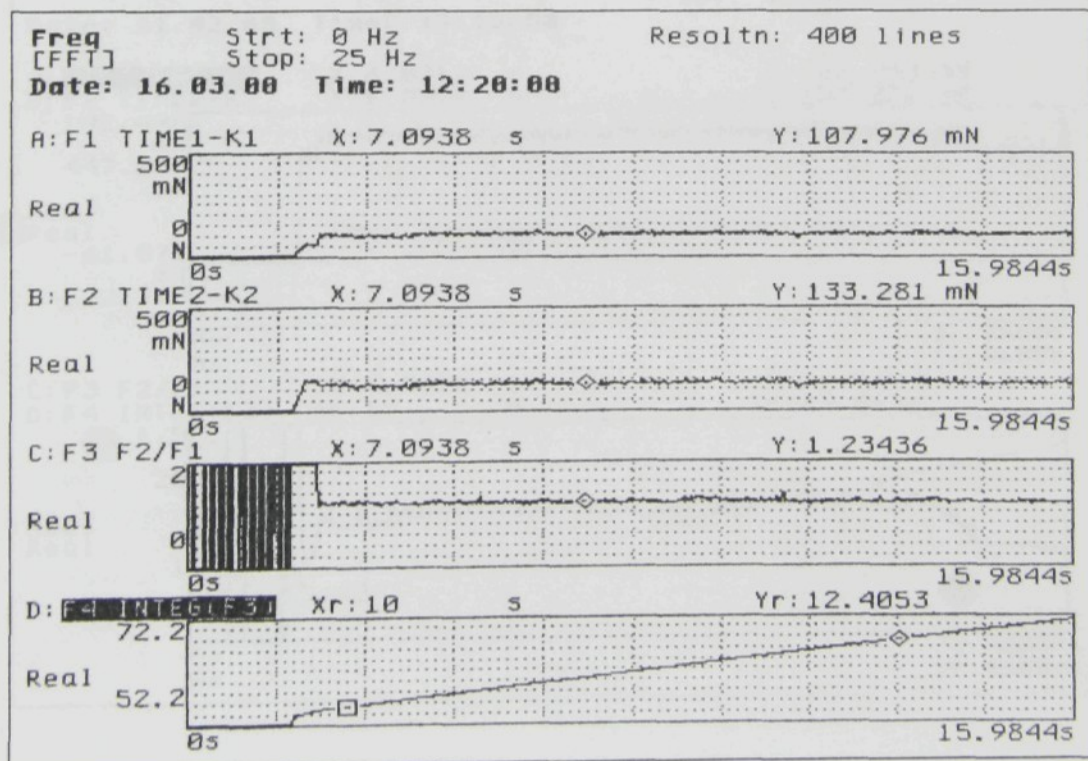


- pohybová rychlost  $2 \text{ m.s}^{-1}$



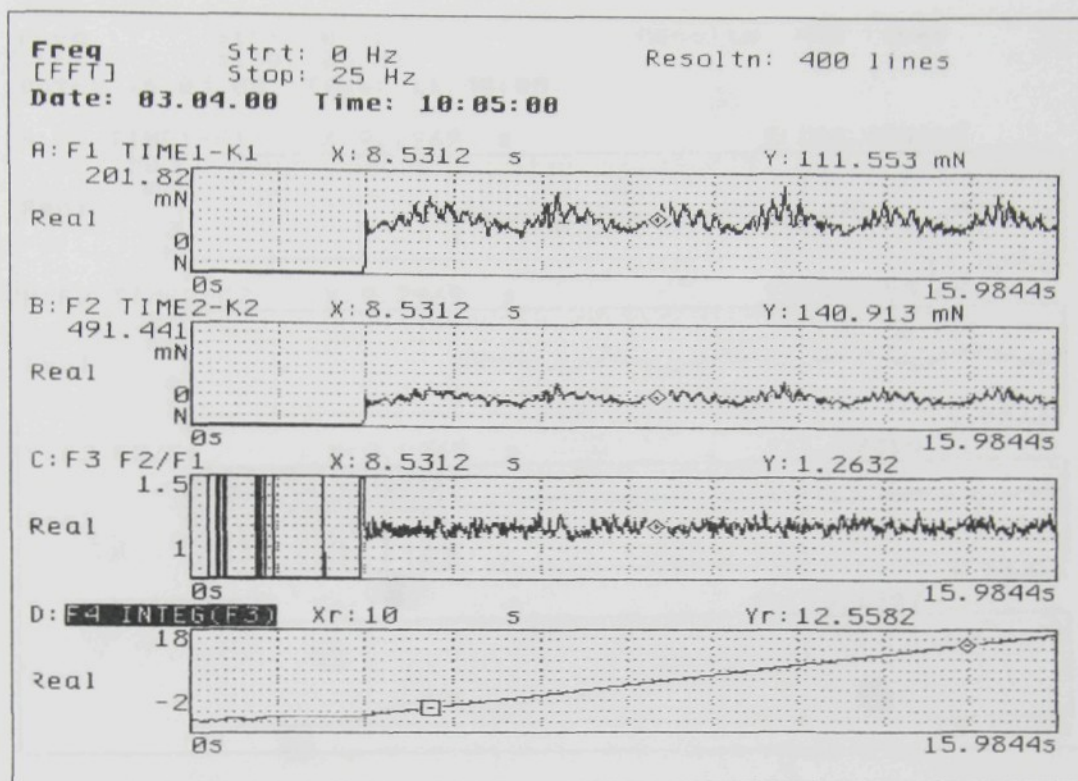
## B- Bavlněná 25x2Tex řezná příze

- pohybová rychlost  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$

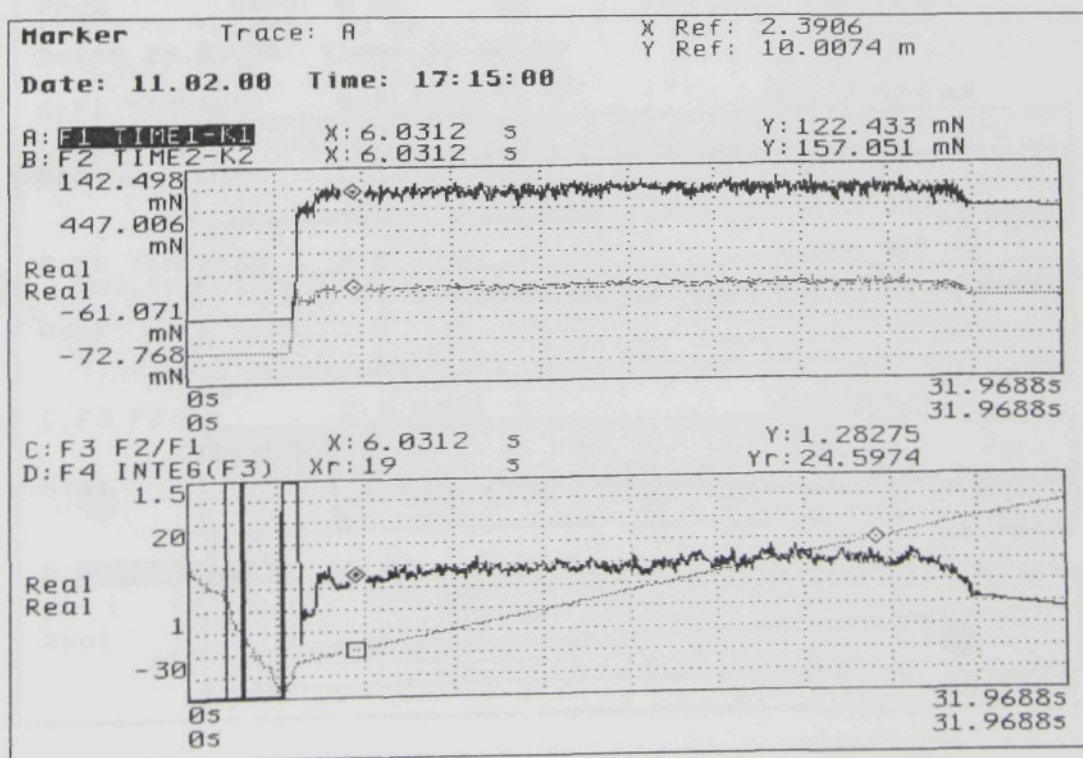




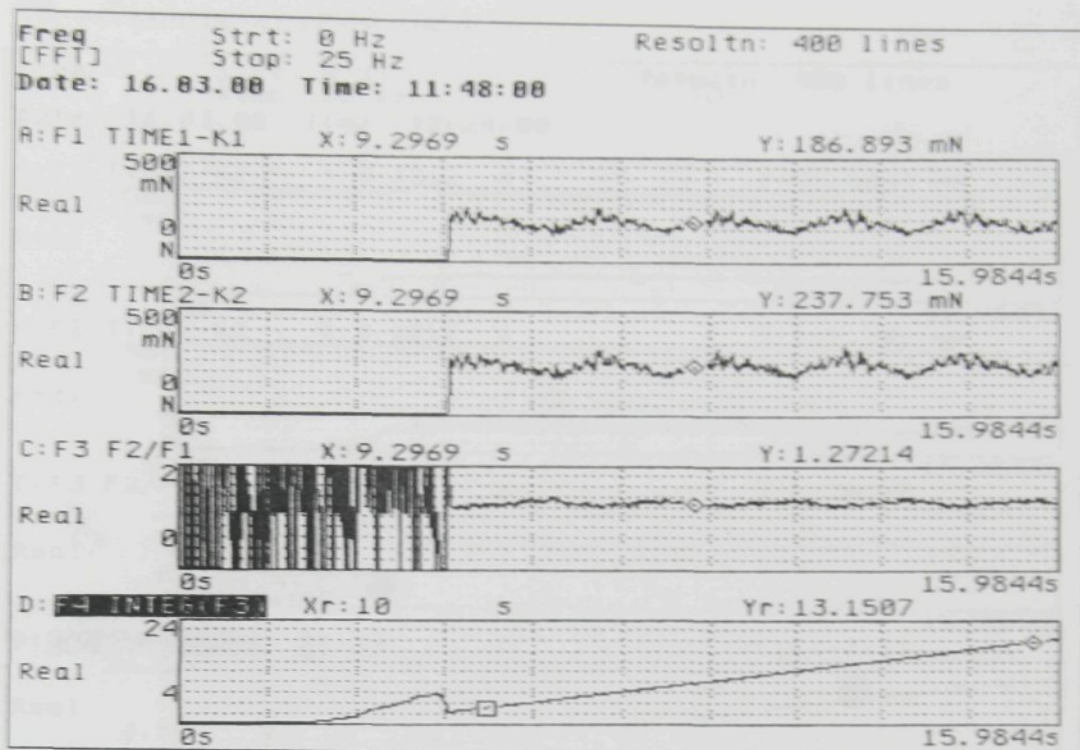
- pohybová rychlost  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$



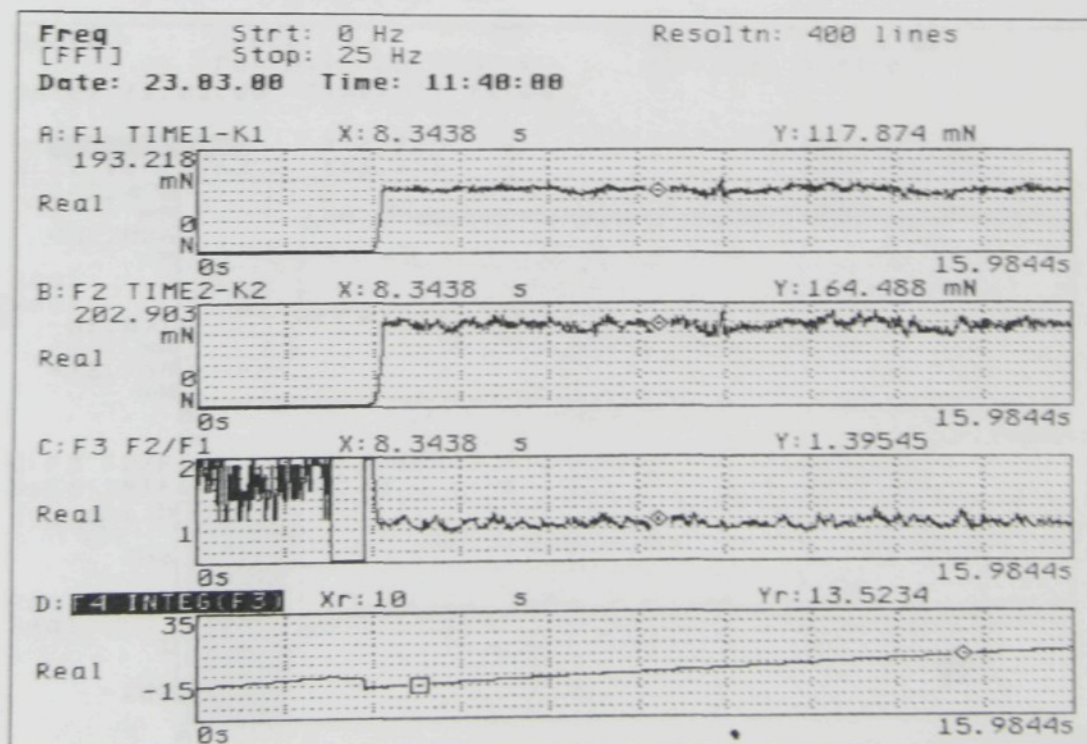
- pohybová rychlost  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$



- pohybová rychlost  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$



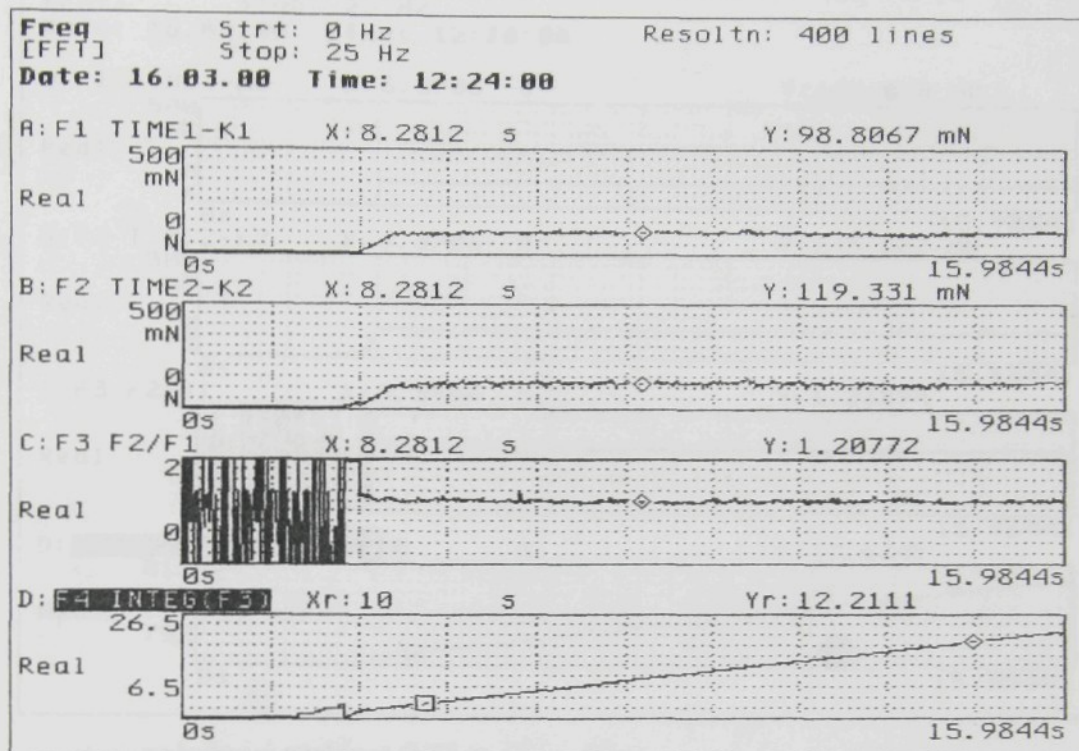
- pohybová rychlost  $0,77 \text{ m.s}^{-1}$



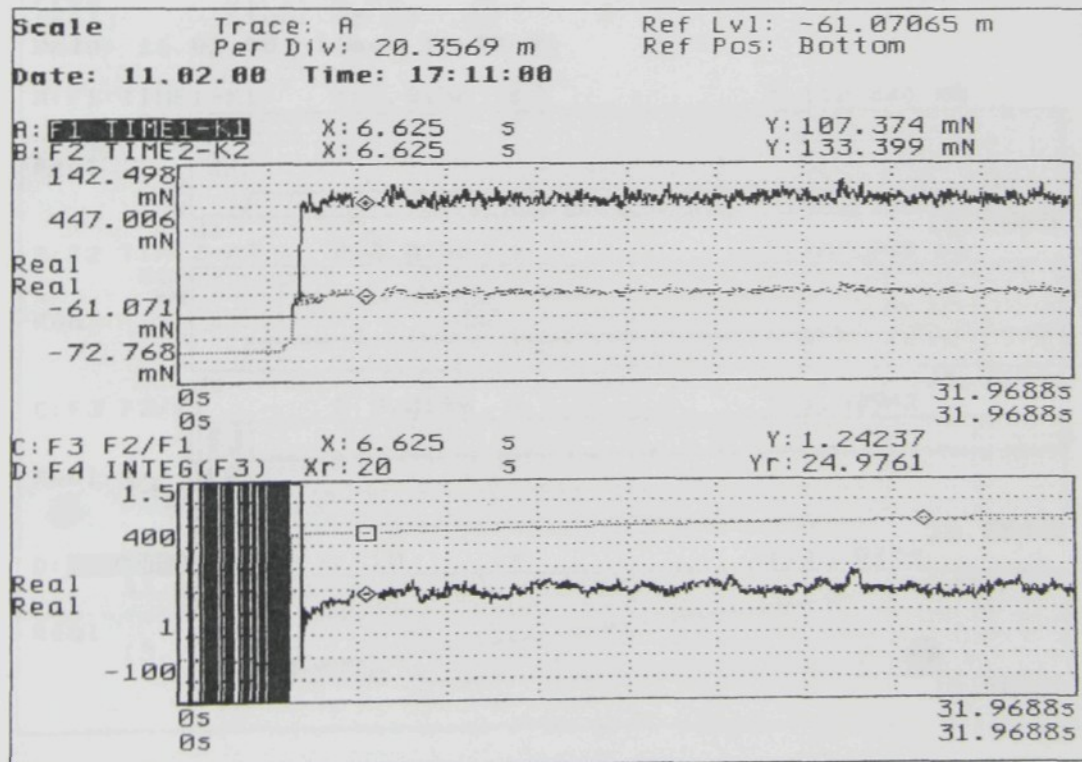


# C- Bavlněná 10Tex příze parafinovaná

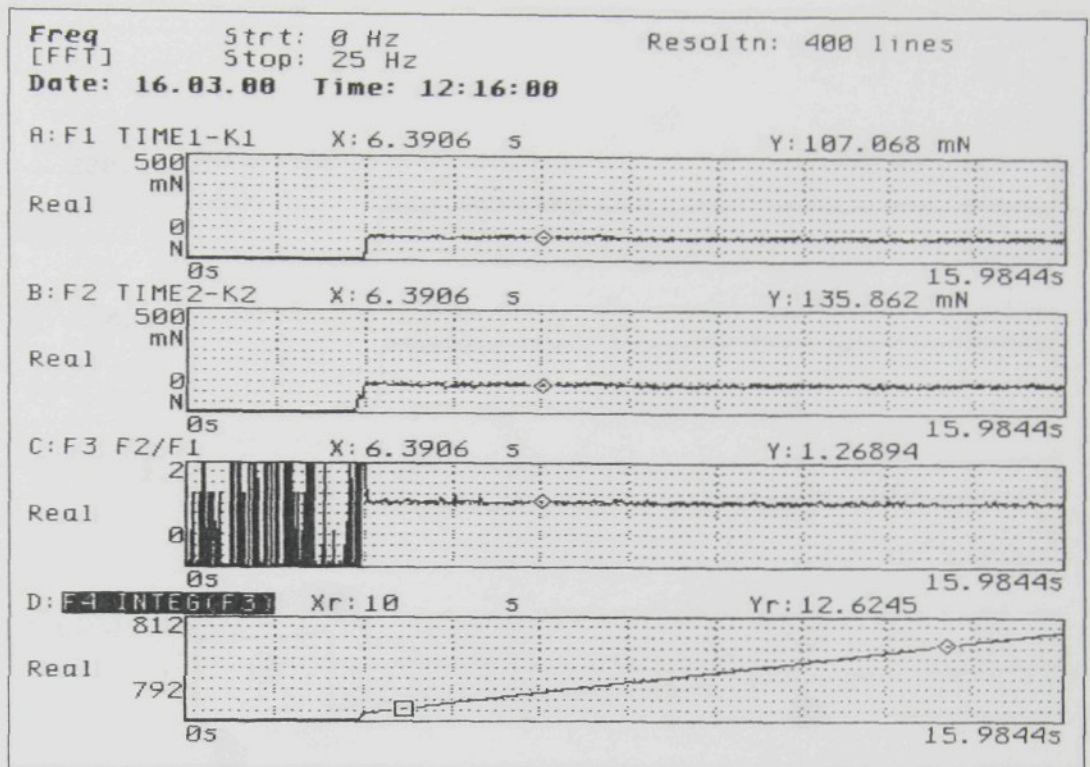
- pohybová rychlost 0,02 m.s<sup>-1</sup>



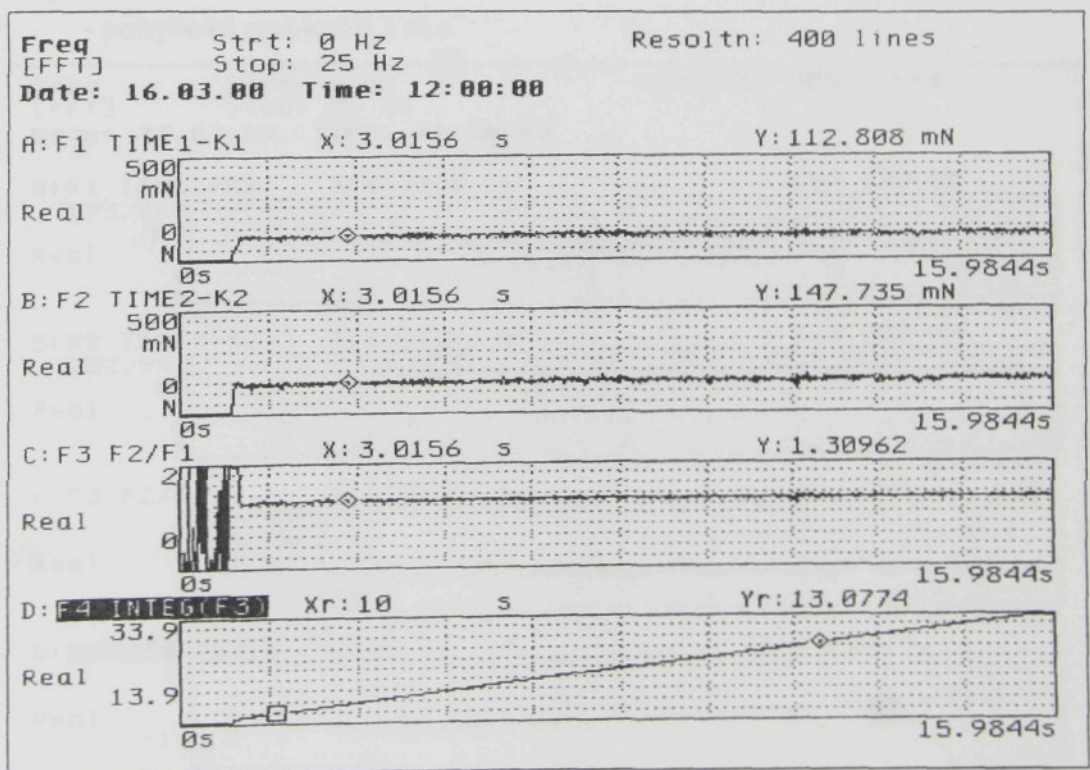
- pohybová rychlost 0,05 m.s<sup>-1</sup>



- pohybová rychlost  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$

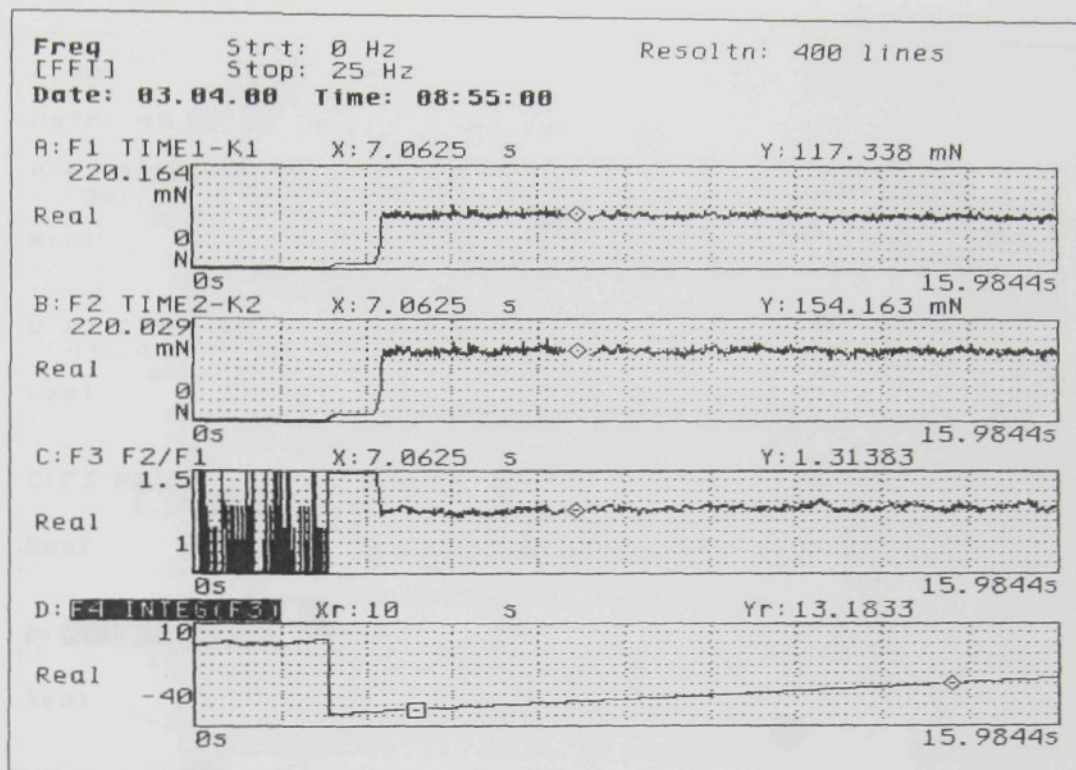


- pohybová rychlost  $0,77 \text{ m.s}^{-1}$



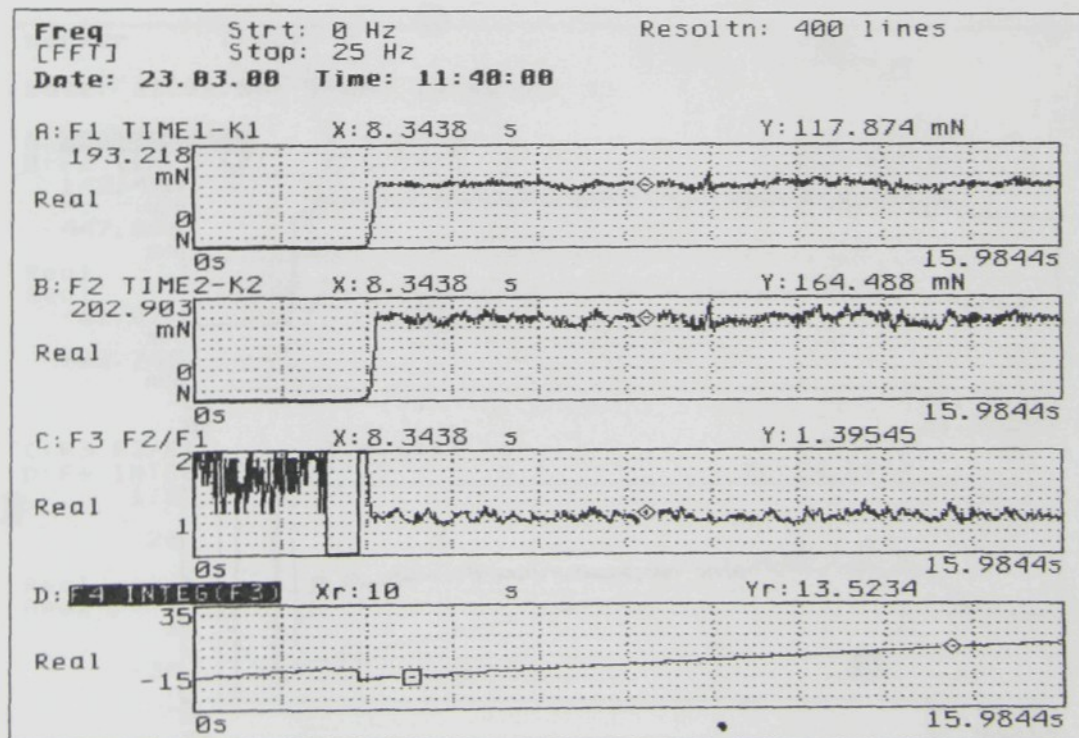


- pohybová rychlost  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$

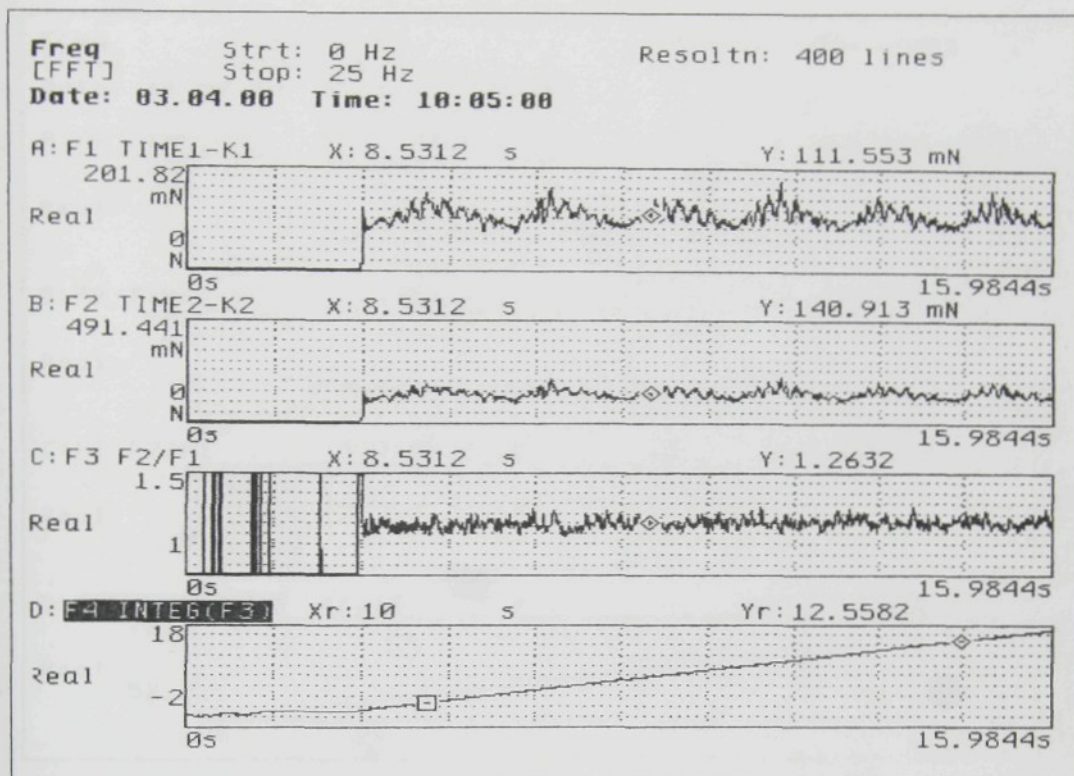


#### D- Bavlněná 25x2Tex příze parafinovaná

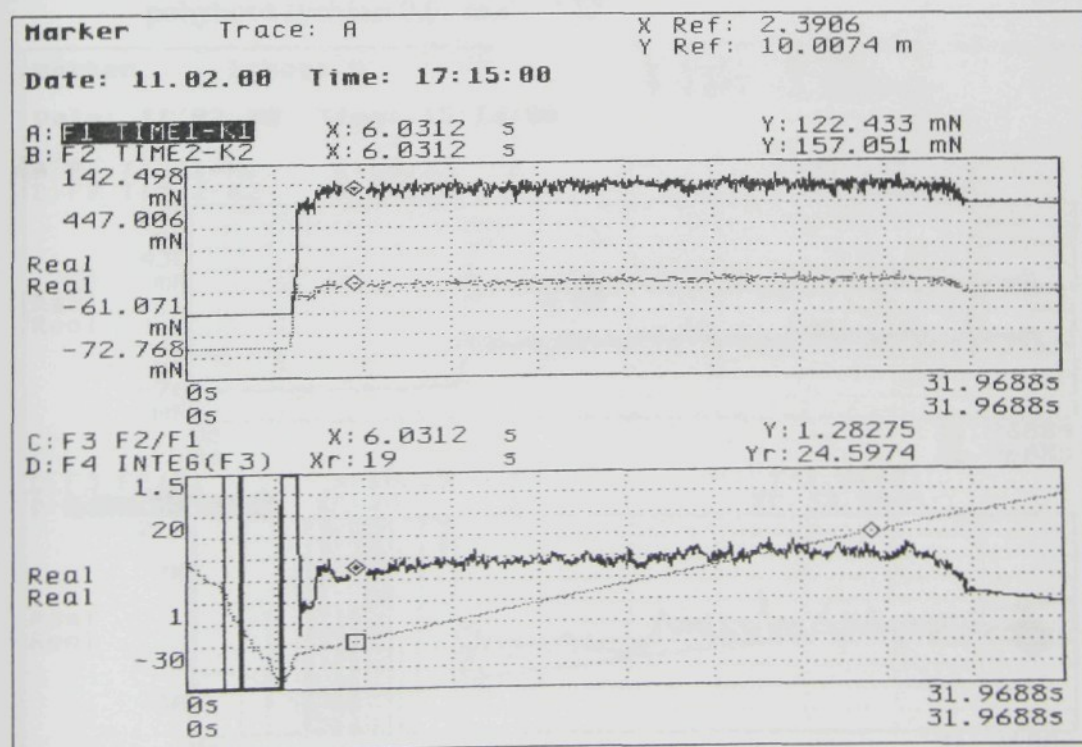
- pohybová rychlost  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$



- pohybová rychlost  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$

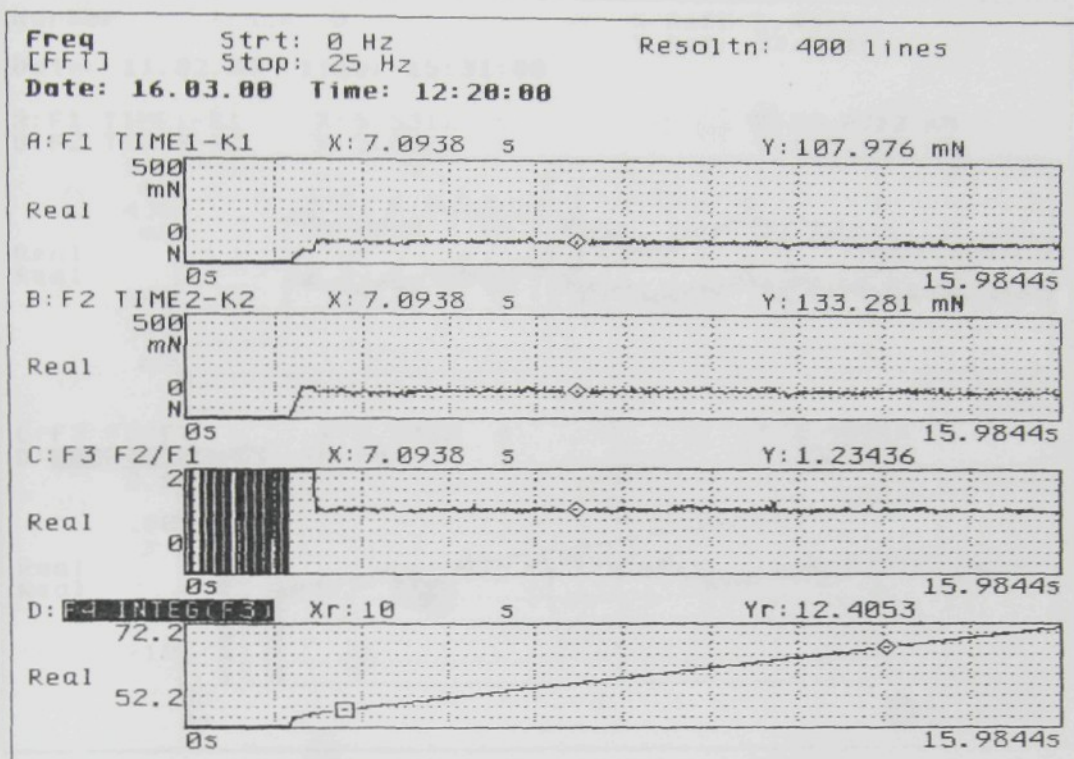


- pohybová rychlost  $0,02 \text{ m.s}^{-1}$



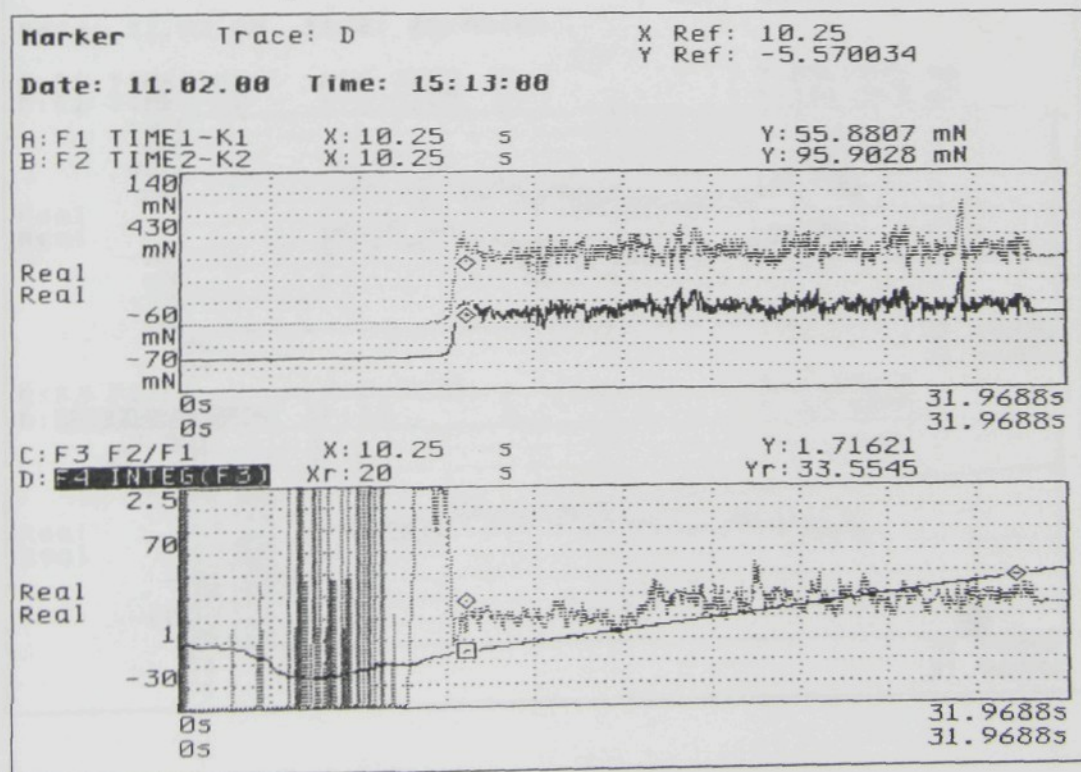


- pohybová rychlost  $0,77 \text{ m.s}^{-1}$

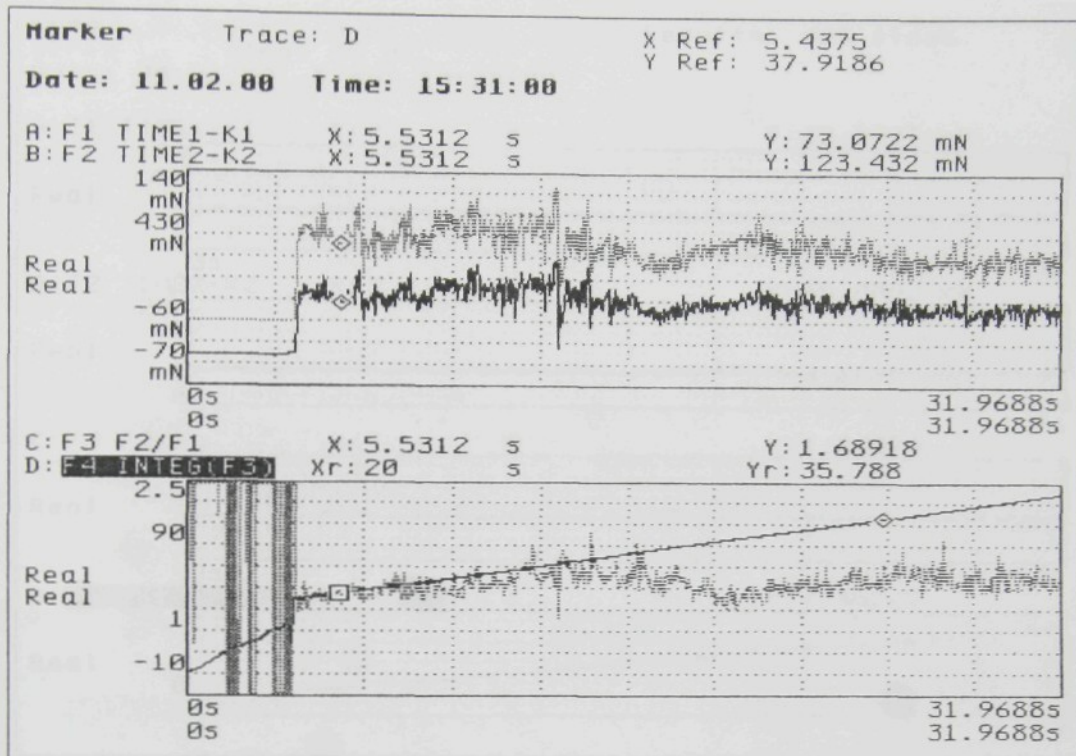


**E- Bavlněná 10Tex příze kalafunovaná 1,5%**

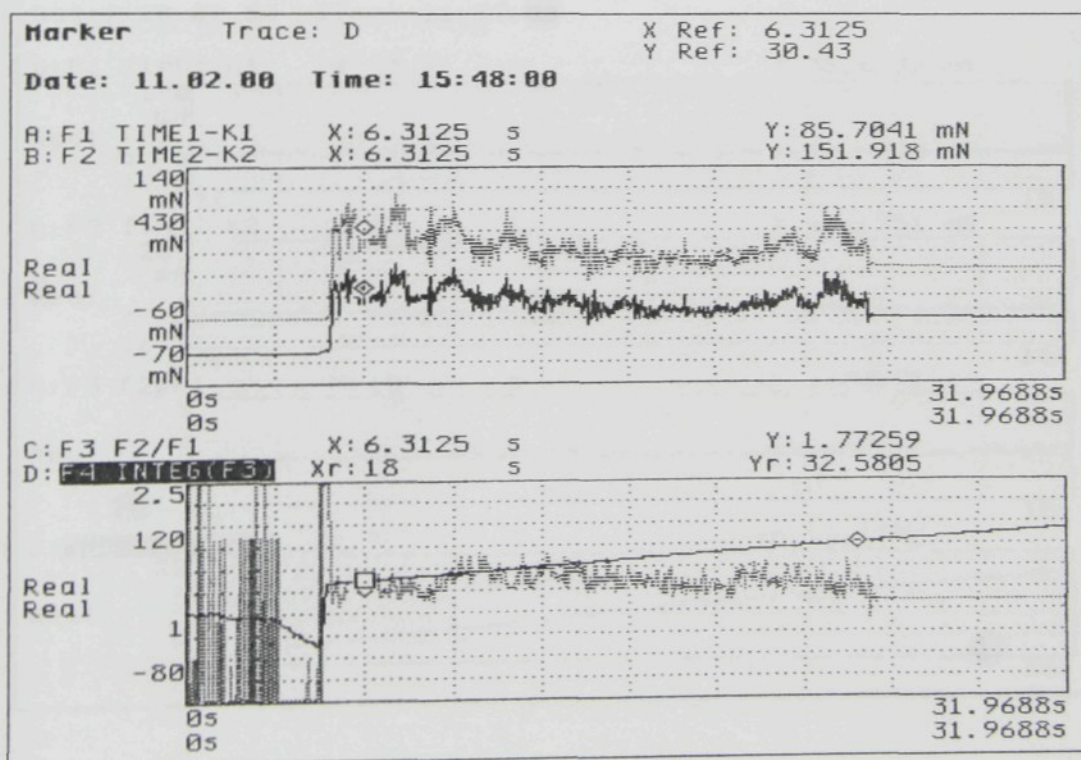
- pohybová rychlost  $0,01 \text{ m.s}^{-1}$



- pohybová rychlost  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$

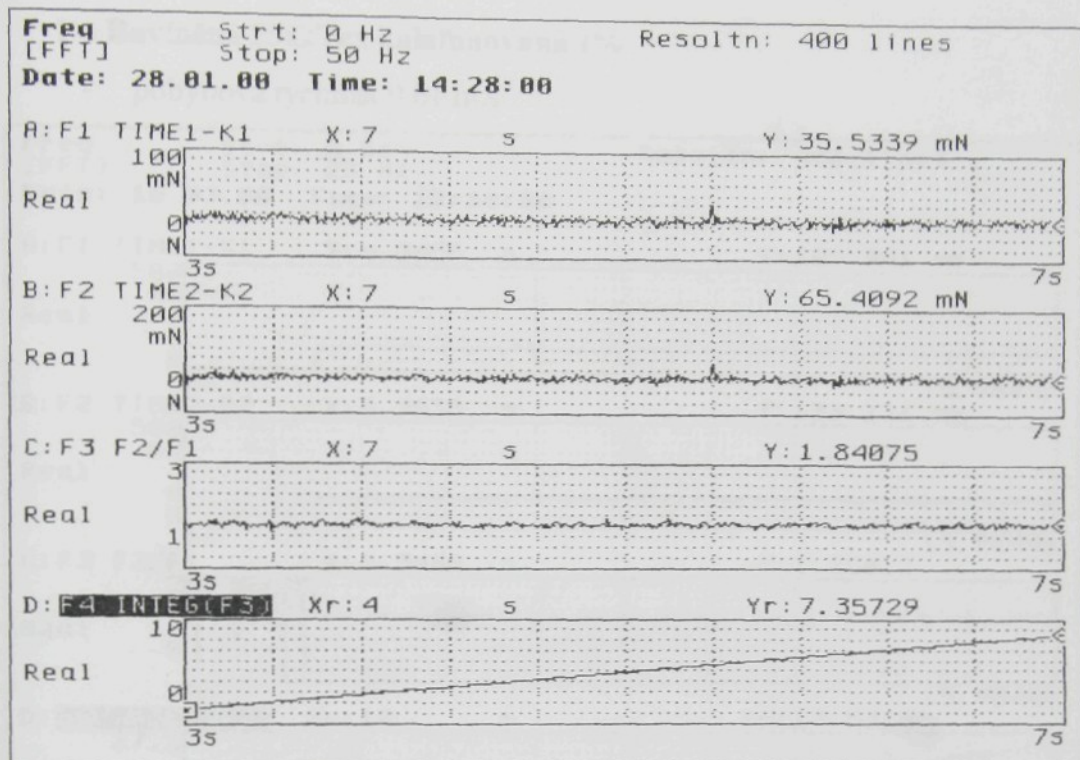


- pohybová rychlost  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$

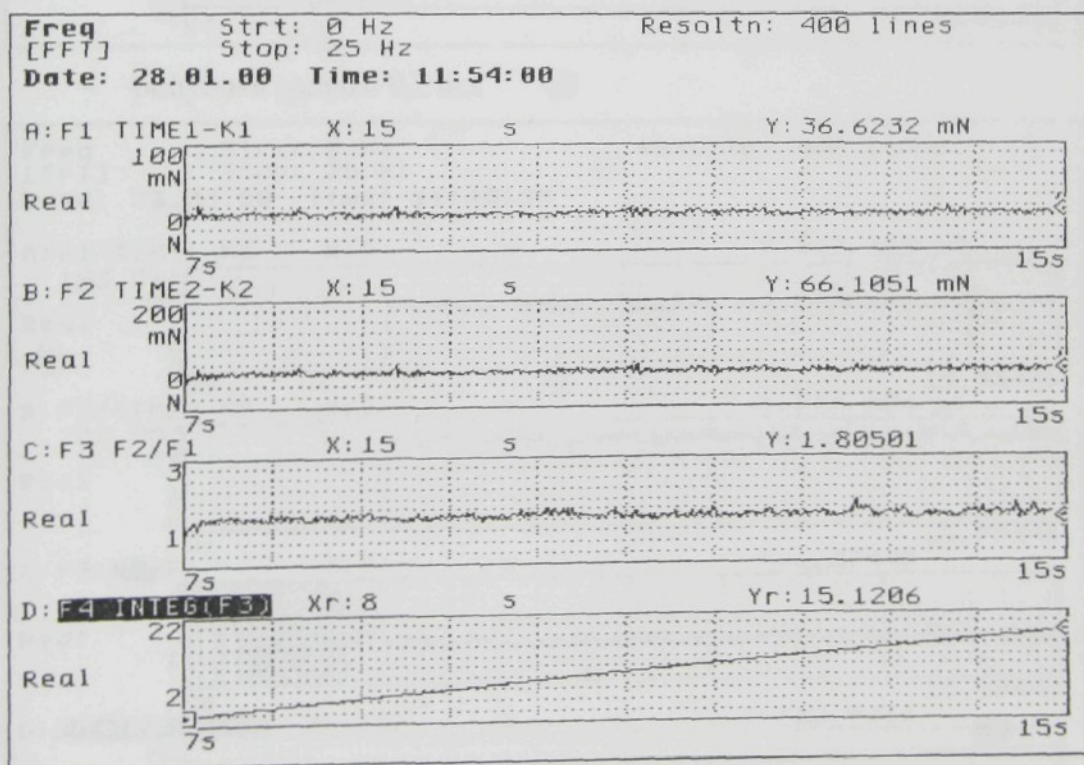




- pohybová rychlost  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$

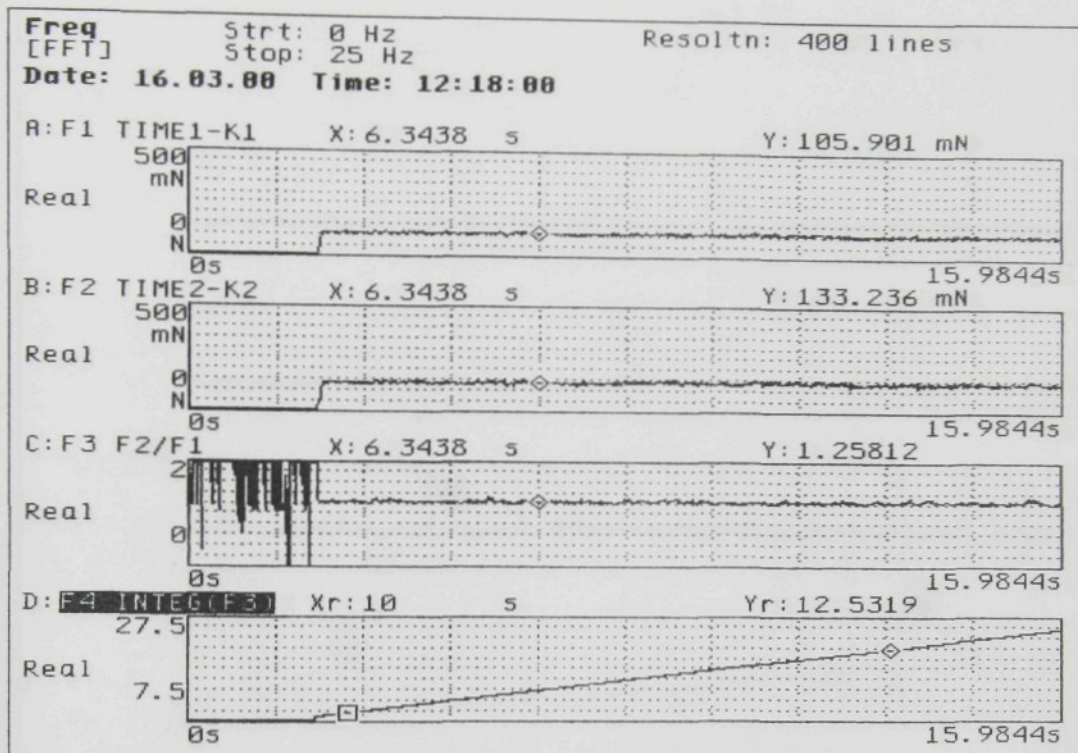


- pohybová rychlost  $2 \text{ m.s}^{-1}$

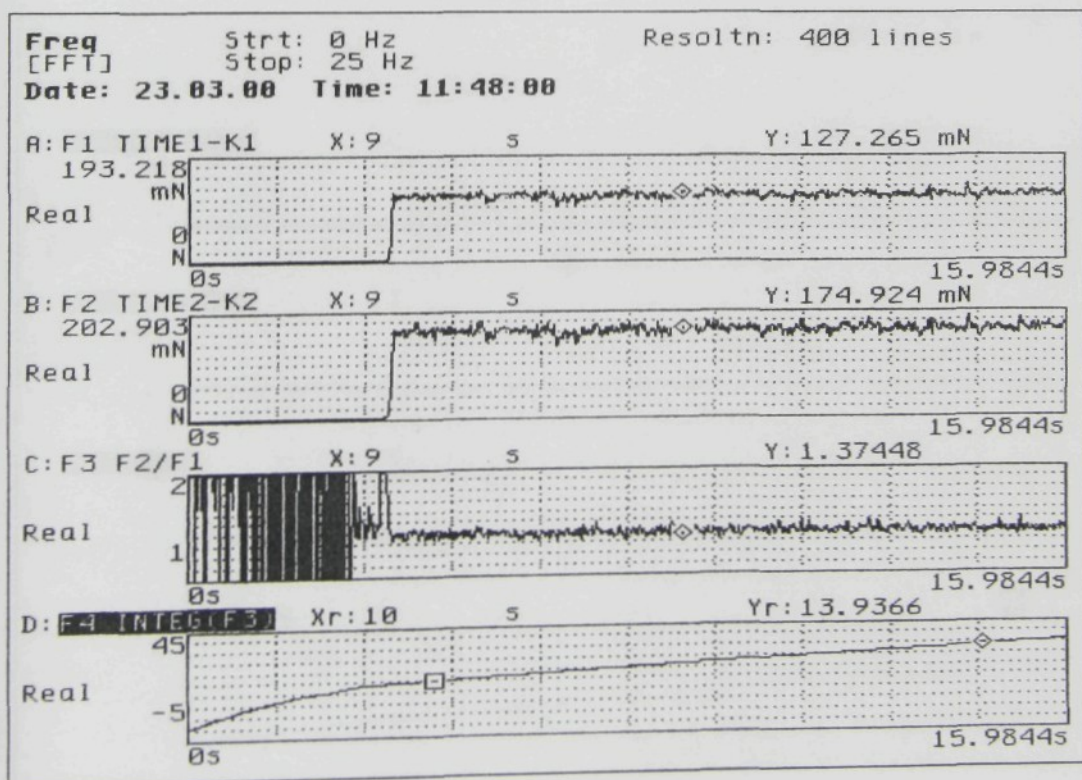


**F- Bavlněná 25x2Tex kalafunovaná 1%**

- pohybová rychlost  $0,01 \text{ m.s}^{-1}$



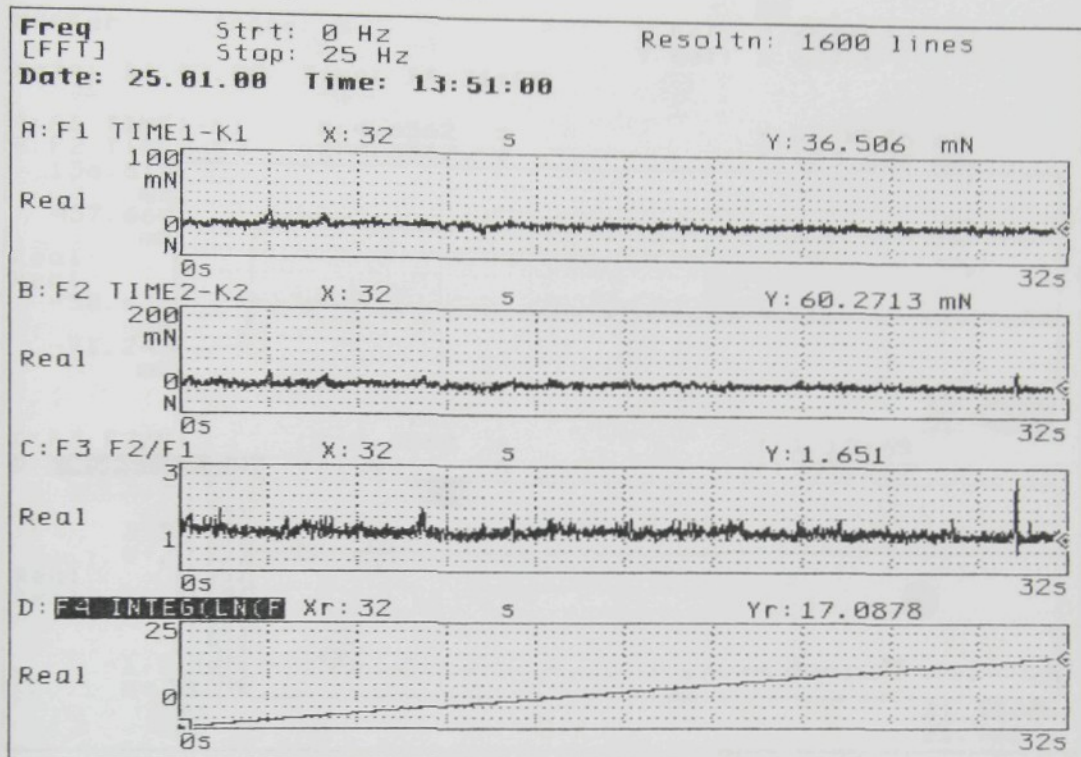
- pohybová rychlost  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$



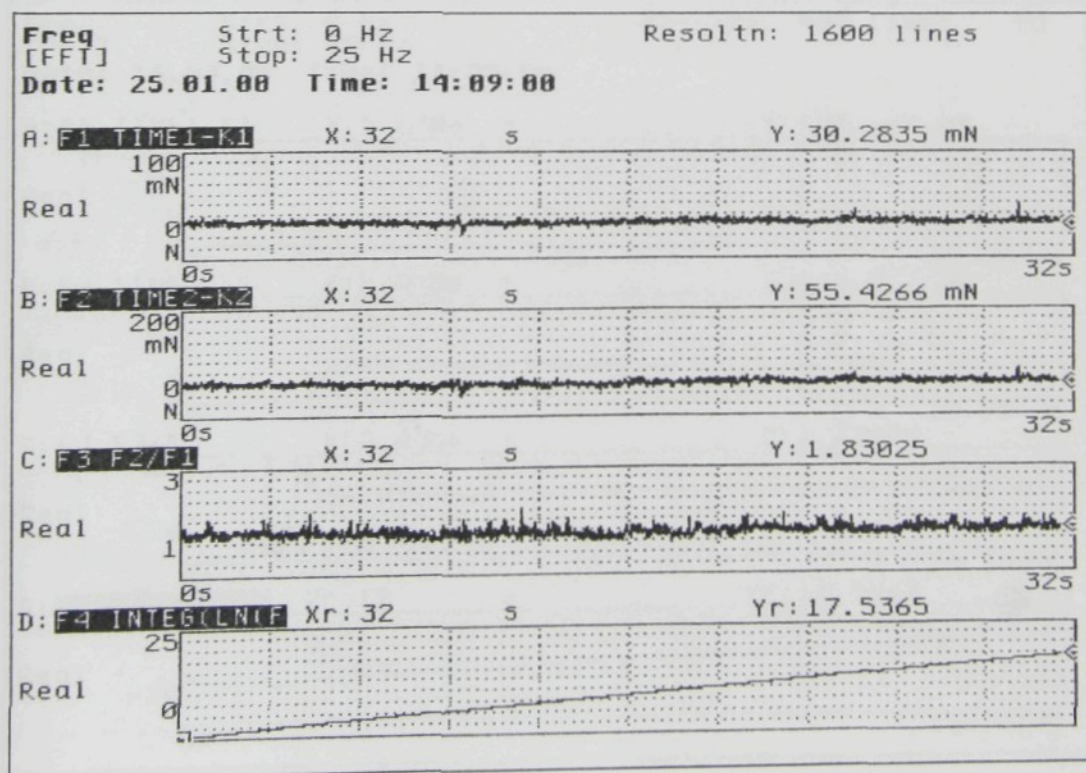


# G- Bavlněná 25x2Tex příze kalafunovaná 3%

- pohybová rychlost  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$

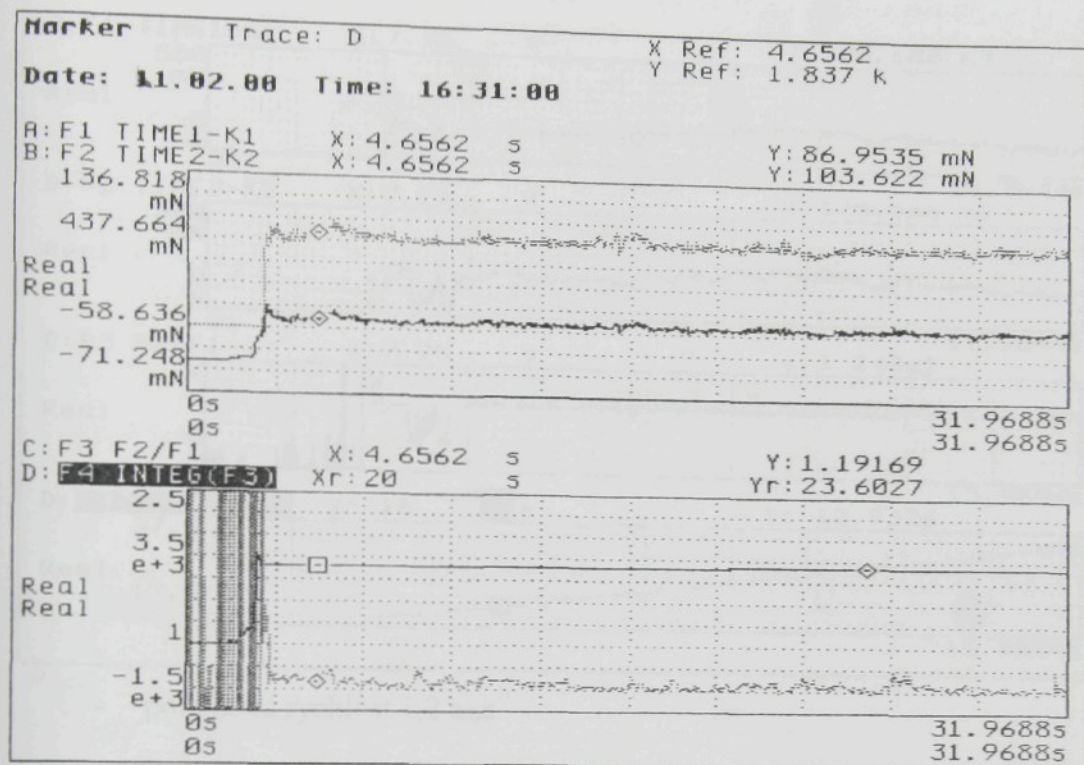


- pohybová rychlost  $0,77 \text{ m.s}^{-1}$

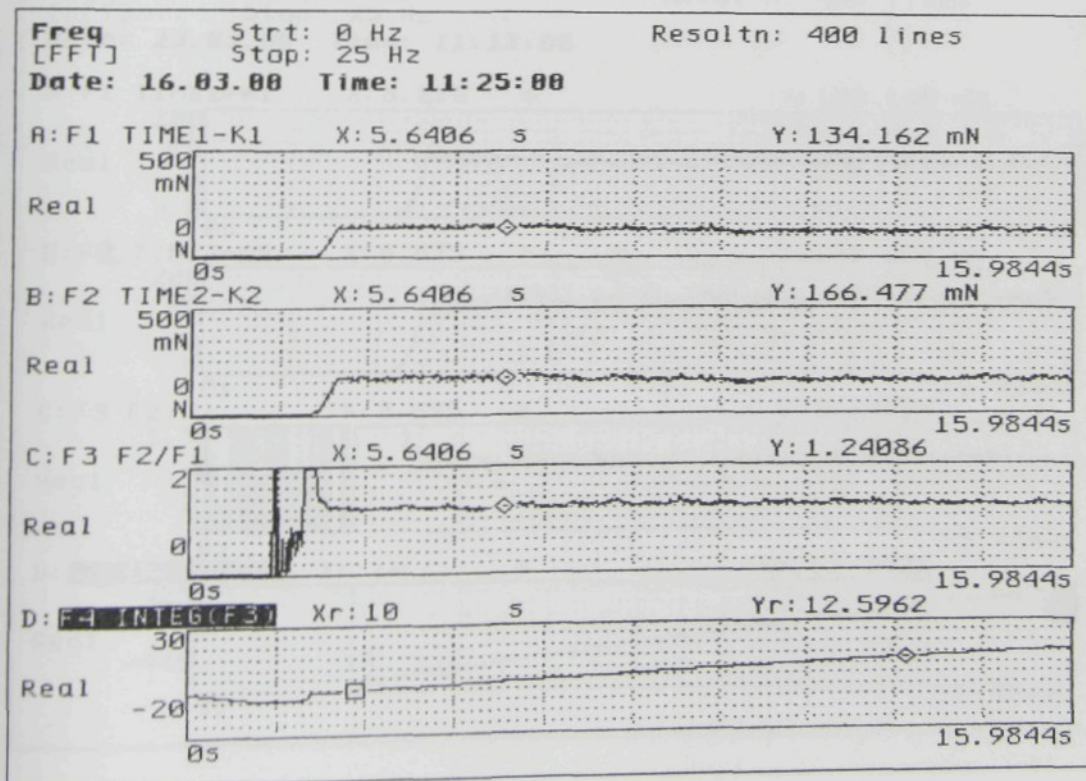


# H- Polyester TDTex 110F36X1

- pohybová rychlost 0,02 m.s<sup>-1</sup>

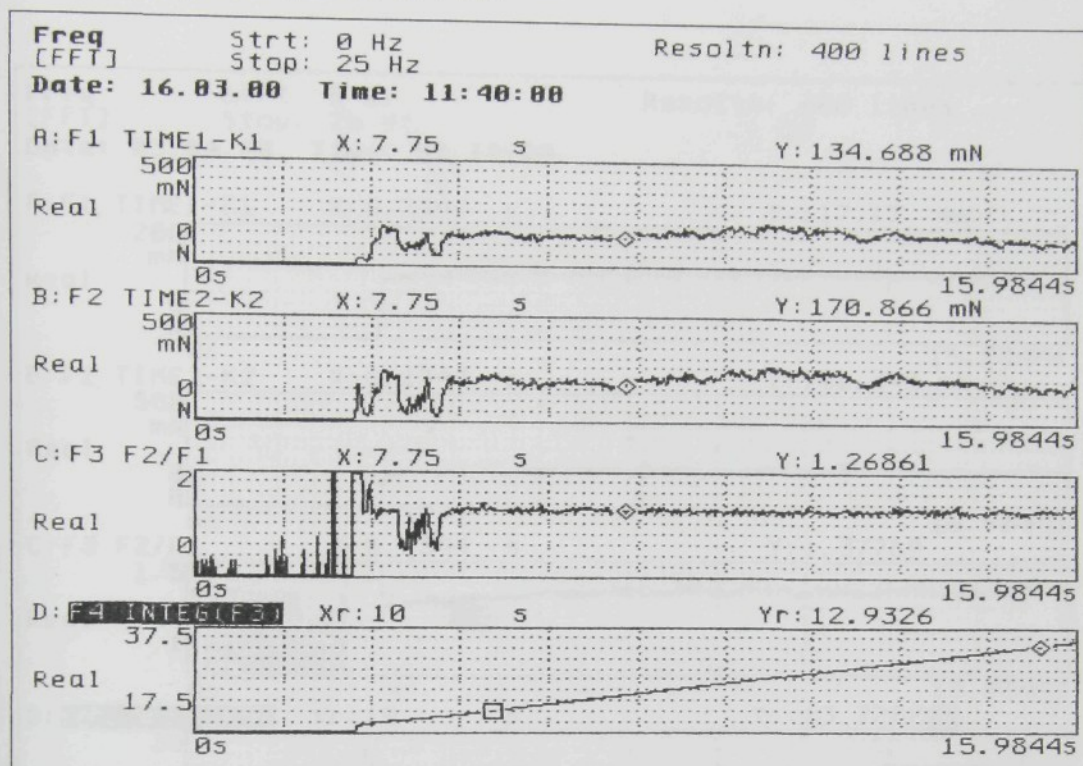


- pohybová rychlost 0,4 m.s<sup>-1</sup>

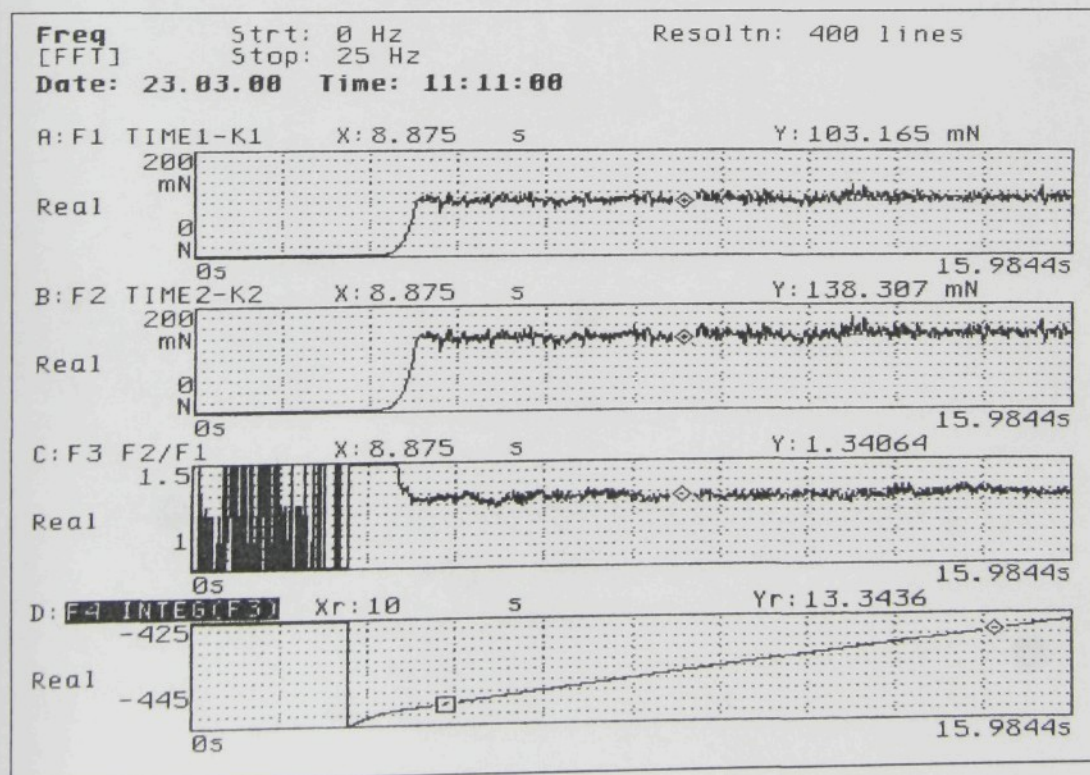




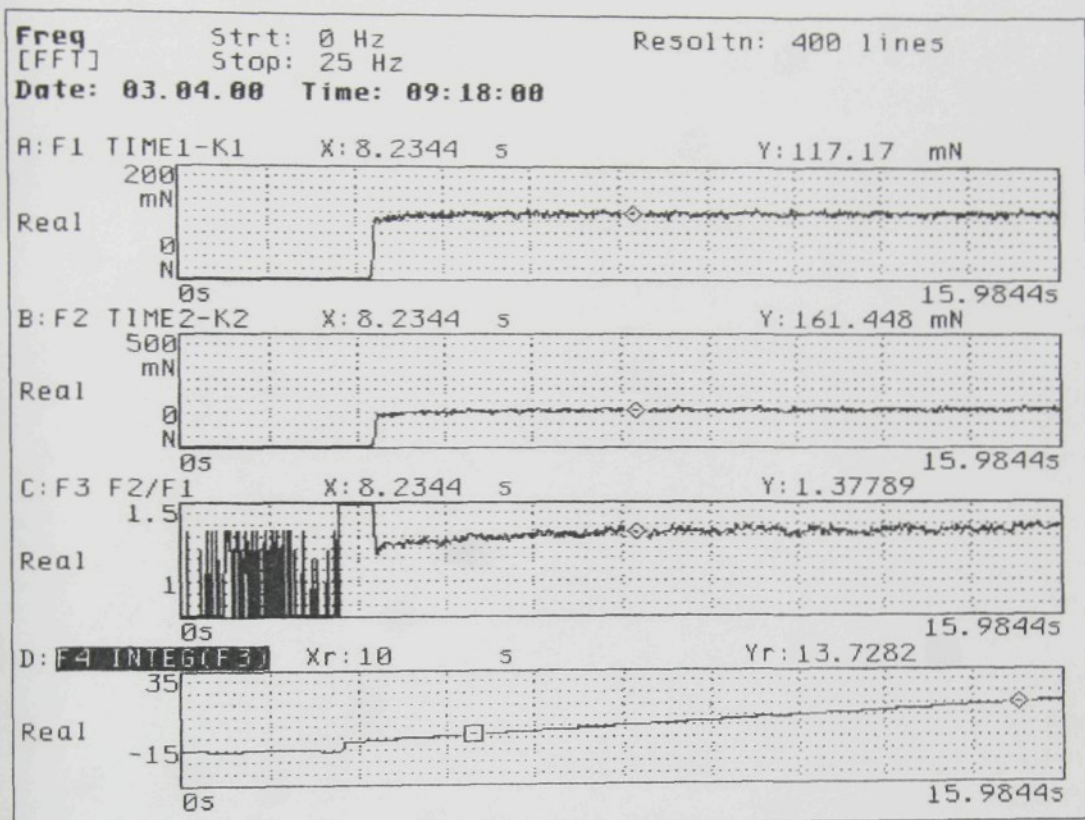
- pohybová rychlost  $0,77 \text{ m.s}^{-1}$



- pohybová rychlost  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$



- pohybová rychlost  $2 \text{ m.s}^{-1}$





U 590 T

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



**Ing. Marcela Hlavová**

**Struktura zátažné jednolící elastické pleteniny  
a její vlastnosti při použití v kompresní terapii**

**TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE**

115005



Název disertační práce:

**STRUKTURA ZÁTAŽNÉ JEDNOLÍČNÍ  
ELASTICKÉ PLETENINY  
A JEJÍ VLASTNOSTI PŘI POUŽITÍ V  
KOMPRESNÍ TERAPII**

Autor:

**Ing. Marcela Hlavová**

Obor doktorského studia:

textilní materiálové inženýrství

Forma studia:

kombinovaná

Školící pracoviště:

Katedra textilních struktur

Školitel:

Prof. Ing. Radko Kovář, CSc.

Školitel specialista:

**Liberec 2004**

## 1. Předmět a cíl práce

Cílem zkoumání kompresní elastické punčochy (KEP) bylo nalézt takové nedostatky v konstrukci KEP, které je možno na akademické půdě TU analyzovat a případně navrhnout způsob řešení, jak je odstranit.

Následující předpoklad vycházel z úvahy, že KEP je vyrobena jako rovnoměrně se zužující kónická hadice (viz kap.2.5.1 Výroba KEP) a bude mít odlišné vlastnosti na tvarově výrazné dolní končetině. Tvaru komolého kužele, který by KEP rovnoměrně svírala s postupně klesajícím svěrným tlakem, totiž dolní končetina neodpovídá.

Předpokládalo se, že díky rozměrovým nerovnostem dolní končetiny existují po nanesení KEP na těle pacienta místa, kde KEP neplní dostatečnou léčebnou kompresi (místa s nulovým zakřivením-např. holení), nebo na některých místech (v oblasti výstupků kloubů a vazů) svírá více než je přípustné. Za oblast nedostatečného svěrného tlaku byla určena hodnota rovna 0 mmHg, a nepřipustnou mezí (z hlediska dermatologického) byla hodnota 60 mmHg. Jde o hranici po jejímž překročení dochází k porušení biologických funkcí kůže a při dlouhodobém působení na těle pacienta k jejímu poškození.

Podstatné bylo nalézt způsob jak kritická místa na těle pacienta zjistit a změřit, jaké mají hodnoty lokálních tlaků.

Na samém počátku bylo zřejmé, že půjde o unikátní způsob měření, který dá odpověď na situaci, jenž se odehrává v reálném trojrozměrném prostoru.

## 2. Přehled současného stavu problematiky

Historii používání zdravotních kompresních punčoch [3] při léčbě žilních onemocnění dolních končetin lze sledovat již od roku 1760. Používaným materiálem pro léčebnou pomůcku byla kůže a hedvábí (viz obr.1). V roce 1860 byla zařazena mezi tyto materiály také pryž a bavlna(viz obr.2).



Obr.1 Zdravotní kompresní punčochy v r. 1760 (materiál: kůže a hedvábí)



Obr.2 Zdravotní kompresní punčochy v r. 1860 (materiál: pryž, bavlna...)



Jak uvádí text Jakostní jistiny [15] „...S cílem zajistit výrobu kvalitativně vysoce hodnotných kompresních punčoch uplatňujících se jako lékařsky předepsaný medicínský prostředek při cévních a lymfatických onemocněních nohou, bylo roku 1956 založeno v německém Kolíně zbožiznalecké společenství Medizinische Gummiindustrie e. V...“

Přelomovým rokem v historii zdravotních kompresních punčoch byl rok 1959 [3]. Na trh bylo uvedeno revoluční elastické vlákno vyvinuté firmou DuPont. Toto vlákno bylo založeno na nové třídě polymerů (jedná se o segmentované polyurethane známé pod obchodním názvem Elastan v Evropě a Spandex v USA).

TAB 1: Požadavky kladené normou RAL GZ 387 a spotřebiteli na výrobce kompresních punčoch

|   | Obecně                        | Konkrétně                                                                                        |
|---|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Optimální zdravotní funkčnost | perfektně padnoucí velikost<br>správná komprese<br>nealergenní vlastnosti                        |
| 2 | Komfort                       | snadné navlékání<br>komfort během nošení<br>vyhovující pocitu pokožky<br>řízení tepla a vlhkosti |
| 3 | Trvanlivost                   | dobu po kterou vypadají jako nově<br>mechanická trvanlivost                                      |
| 4 | Estetika                      | atraktivita výrobku, jenž paradoxně nevypadá jako<br>zdravotní pomůcka                           |

Kompresní terapie [4] je v současné době nedostatečně doceněna a opomíjena. Jedná se hlavně o kritiku již zaběhlého laxního přístupu některých lékařů. Přitom je to terapie levná, dostupná a účinná. Ve svém postavení je nezastupitelná – nelze ji ničím jiným nahradit.

Kompresní terapie spočívá v přímé aplikaci graduovaného tlaku na tkáňové struktury za účelem fyziologických změn v oblasti žilní a mízní cirkulace.

TAB 3: Kompresní třídy a indikace kompresních elastických punčoch

| Kompresní třída | Tlak v oblasti kotníku | Komprese      | Indikace                                          |
|-----------------|------------------------|---------------|---------------------------------------------------|
| KT I.           | 15 – 21 mmHg           | mírná         | počínající varixy<br>otoky po námaze<br>gravidita |
| KT II.          | 23 – 32 mmHg           | středně silná | onemocnění žilního systému                        |
| KT III.         | 34 – 56 mmHg           | silná         | choroby žilního a mízního<br>systému, otoky       |

Léčba žilního onemocnění se řídí závažností onemocnění. Podle toho se liší také jednotlivé kompresní třídy, které odpovídají závažnosti onemocnění [3]. V TAB 3. jsou jednotlivé kompresní třídy uvedeny spolu se stručnou charakteristikou onemocnění, která léčí.

Zatímco I. a II. kompresní třída je volně prodejná, III. kompresní třída je pouze na lékařský předpis a individuálně pletena na zakázku podle potřeb pacienta.

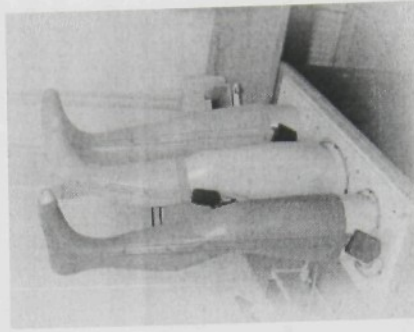
### Známé metody měření vlastností KEP

Dle teorie měření [17] je lze obecně dělit na přímé a nepřímé. Přímá měření dovolují ihned stanovit hledanou veličinu a omezit chybu měření na minimum. Při nepřímých metodách měření se zkoumá jakákoliv libovolná proměnná.

V případě nyní u výrobců KEP používané **metody přímé** jde o vkládání měřícího přípravku mezi pokožku a textilii.

a) Čidlo (pryžový balónek) je spojeno latexovou hadicí s manometrem pro měření krevního tlaku. Tlak, jímž působí výrobek na povrch lidského těla, je indikován na stupnici manometru. Na základě naměřených hodnot se zaznamená graf, který udává změnu tlaku, jímž působí různé části výrobku na povrch lidského těla.

b) Mnohočetné čidlo (do ohebného plastového pásu zalité větší množství drobných



Obr. 14 Testování KEP firmou MAXIS

čidel) je napojené na přístup tlaku (viz obr. 14). Sensory pak reagují vždy na přítomnost zvýšeného tlaku vzduchu, který uvnitř čidel způsobí přerušení elektrického kontaktu.

c) Čtverečky (o určité tloušťce a rozměrech: 8x12 cm na vnější straně a 5x9 cm na straně vnitřní) jsou vkládány pod povrch KEP a poté je vyhodnocována míra jejich stlačení. Přesněji je tato metoda popsána v článku [24] z japonského odborného tisku. Tato metoda je používána jak přímo na těle pacienta, tak i na modelu (souměrném válci).



Nevýhodou těchto metod je, že se změní tvar plochy textilie, která už nekopíruje tvar těla a proto jsou tyto výsledky měření vždy zatížené určitou mírou nepřesností.

Metoda **nepřímého měření** měří pouze délku. Je známo několik metod hodnocení tlaku, jímž působí elastický výrobek, pomocí zařízení pro měření závislosti „zátížení-protažení“ v dvojrozměrném prostoru.

Podstatnou nevýhodou nepřímých metod měření je, že nerespektují komplikovanost prostorového tvaru končetiny.

Punčocha je upletena ve formě „hadice“ kónického tvaru a jako taková svírá postupně klesajícím tlakem objekt, v ideálním případě opět kónický, postupně se rovnoměrně zužující. To ale lidská končetina se všemi svými rovinnými a vystoupilými ploškami není.

### 3. Použité metody

Tato práce je zaměřena pouze na KEP, II. KT, a to se ZJ pletářskou vazbou. Na tento typ punčochy jsem se zaměřila vzhledem k současné nabídce na českém trhu a po konzultaci s lékařskými odborníky.

#### Rozbor problematiky z hlediska mechaniky kontinua

Prádlo, zdravotnické prostředky i jiné části oděvů působí na tělo tlakem, který může omezovat jeho biologické funkce [9]. Sledování tlakových účinků standardních kompresivně elastických oděvních výrobků není zcela obvyklé.

Určit tento svěrný tlak je obtížné.

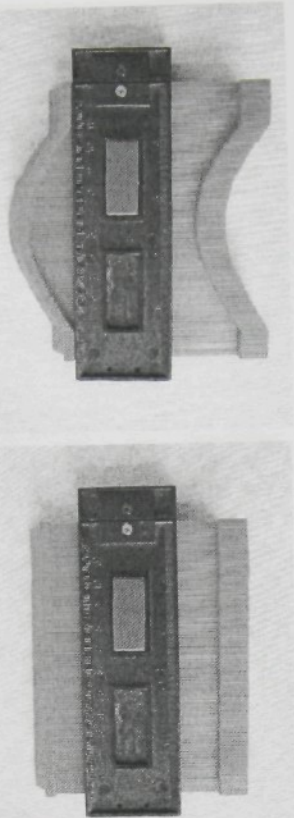
Záměna textilie s výraznou strukturou plošným kontinuem se stejnými mechanickými vlastnostmi umožňuje využít rovnice mechaniky kontinua a definovat základní mechanické vlastnosti textilie [8].

Ve výzkumné práci [14] se ukázalo, že je třeba sledovat, jak je textilie na povrchu těla namáhána, určit směry hlavního zatěžování na textili, jenž bude převážně v rovinách hlavních křivosti povrchu těla.

Je-li vyznačen na textili v místě zkoumání svěrných účinků malý element, charakterizovaný čtyřmi vrcholy, a je-li proměřena vhodnou metodou vzájemná poloha těchto bodů před deformací textilie a po její deformaci, lze určit tzv. materiálový deformační gradient  $F$ . Ten je vyjádřen pomocí derivací rozdílů souřadnic těchto čtyř bodů podle Lagrangeových souřadnic proložených ve směrech dvouosého namáhání textilie. Ve měřeních místě těla určíme pomocí přípravku (viz obr. 15a a 15b) hlavní poloměry křivosti  $r_1$ ,  $r_2$  těla.

Pro stanovení svěrných účinků je třeba znát mechanické vlastnosti textilie. Ty jsou však závislé na velikostech silových účinků působících na textili a na ortogonálních směrech

namáhání textilie vzhledem k její struktuře. Připraví se stejný vzorek textilie orientovaný tak, aby jeho strany byly kolmé na směry namáhání textilie na povrchu těla z hlediska její struktury (u pleteniny orientace vzhledem k řádkům a sloupkům). Vzorek textilie je dostatečně velkých rozměrů, aby se v jeho střední části, kde bude probíhat měření posuvů, málo projevovaly vlivy okrajů a způsob přiložení sil. V přípravku (obr. 16) se vyvodí kombinací zatěžování v obou směrech posuvy obdobně označených bodů malého elementu tak, aby bylo docíleno pokud možno stejné hodnoty deformačního gradientu  $F$ , přesněji – jeho čtyř složek  $1+u_{11}$ ,  $u_{12}$ ,  $u_{21}$ ,  $1+u_{22}$ . Kritériem správnosti měření je shodný poměr rozdílů souřadnic v uhlopříčných směrech elementu po a před deformací.



Obr 15a. Přípravek pro určení křivosti (výchozí stav)

Obr 15b. Přípravek pro měření křivosti (pracovní pozice)

#### Návrh metody

Cílem bylo navrhnout takovou metodu měření, která umožní zaznamenat tvarovou rozmanitost dolní končetiny a zároveň hodnoty napětí (lokálních svěrných tlaků), které vytváří KEP na konkrétních místech této končetiny.

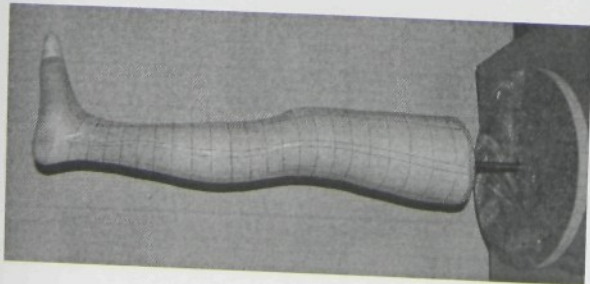
Zjišťování rozměrových změn přímo na noze figurantky se jevilo od samého začátku jako časově náročné, a proto byl profesionální protetikou firmou vyroben jeden sádrový odlitek nohy. Tento model dolní končetiny byl pořízen u náhodně vybrané figurantky z toho důvodu, že již jednou v úvodní kapitole citovaná závazná norma RAL-GZ 387 neudává tvar a přesné rozměry ideálního modelu končetiny.

Způsob získání sádrového odlitku byl následující:

Natažená noha byla pevně obtočena 10 cm širokým igelitovým pásem (zezdoma nahoru). Poté byla obtočena 10 cm širokým obvazem napuštěným sádrou, přodem dostatečně navlhčeným. Po zaschnutí byl veden podélný řez tak, aby mohla být uvolněna vzniklá forma. Vznikl tak tvarový negativ končetiny. Poté mohl být vytvořen sádrový odlitek, do kterého byla zapuštěna kovová tyč proto, aby šlo odlitek stabilizovat do podstavce. Sádrový odlitek



bylo třeba ještě nalakovat v několika vrstvách tak, aby bylo snadné na něj klást testované punčochy.



Obr.19 KEP na sádrovém odlitku nohy s vyznačeným rástrem.

Jak už bylo zmíněno (kap. 2.5 KEP z hlediska textilně vědního) byly zkoumány KEP II. KT, a to se ZJ pletářskou vazbou.

Na každé punčoše (celkem 6 ks, z toho 2 KEP se zkrácenou délkou) byl prošíváním KEP tnavou nití zhotoven rastr velikosti 50 zapletených elastomerů x 50 sloupků (viz obr.19). Vznikla tak síť 22 (21) nití po obvodu, podél zapletených elastomerů a 8 nití podél sloupků. V místě překřížení rovnoběžných a kolmých rastrových nití byly fixem na textil označeny body ve vzdálenosti 2 x 2 cm a překřížení bylo označeno identifikačním číslem (1<sub>1</sub> – 22<sub>6</sub>). Vše v klidovém relaxovaném stavu.

Poté byla postupně každá z punčoch nakladena na sádrový odlitek nohy a pomocí přístroje na snímání křivosti povrchu (viz obr. 15b) byly odečteny rozměrové změny úseček a jejich zakřivení. Výchází rastrová nit, tzv. nultá, se nacházela u všech punčoch na stejném místě. Vždy na vnitřní straně v oblasti paty. Ostatní rastrové nitě, podle způsobu nakladení KEP na končetinu, se vyskytovaly přibližně v těchto místech:

- Nit č.1 byla vyšita v oblasti odpovídající na vnitřní straně končetiny.
- Nitě č. 2 a 3 odpovídala oblastí přední strany končetiny (holeň, koleno).
- Nitě č. 4 a 5 odpovídala vnější straně končetiny.

- Nit č. 6 odpovídala zadní části končetiny (lýtko, podkolení jamka).

Po zaznamenání těchto dat byla punčocha sejmuta z odlitku, rozstřížena podél a zbavena rastrových nití.

Rozstřížení punčoch bylo vedeno v místě, kde téměř nemohla ovlivnit měření síly na přípravku pro biaxiální namáhání. Po zrelaxování s denním časovým odstupem (tento materiál relaxuje velmi rychle již během několika hodin) byla provedena simulace měření na přípravku pro biaxiální namáhání (viz obr.21).

Punčocha byla upnuta pomocí systému háčků do přístroje. Byly zapojeny snímače síly. Pomocí postranních šroubů ovládající nezávislý pohyb čelistí byly body upraveny do vzdálenosti 2 x 2 cm jako výchozí stav. Poté byly snímače vynulovány a body byly protaženy na požadovanou velikost podle rozměrů změřených na modelu nohy. Po uplynutí 20 minut byly odečteny hodnoty sil na obou snímačích.

Získané hodnoty síly a poloměry křivosti byly dosazeny do vztahu

$$p = \frac{s_1}{r_1} + \frac{s_2}{r_2}$$


Obr. 21 Přípravek pro biaxiální namáhání - detail



4. Přehled dosažených výsledků

TAB 8: Puntócha č. 1

| obvod | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| číslo | sloupek 1 | sloupek 2 | sloupek 3 | sloupek 4 | sloupek 5 | sloupek 6 |
| 22    | 38,22     | 44,85     | 26,83     | 57,68     | 1,89      | 73,89     |
| 21    | 43,36     | 24,62     | 7,66      | 44,01     | 23,12     | 75,47     |
| 20    | 29,07     | 39,20     | 40,10     | 19,26     | 22,91     | 51,52     |
| 19    | 31,50     | 32,99     | 30,53     | 17,44     | 24,43     | 1,55      |
| 18    | 37,41     | 44,10     | 44,01     | 42,15     | 23,45     | 59,71     |
| 17    | 40,77     | 34,72     | 38,89     | 60,91     | 40,53     | 0,91      |
| 16    | 15,39     | 200,59    | 46,43     | 56,96     | 30,07     | 7,87      |
| 15    | 28,51     | 0,00      | 0,00      | 38,41     | 31,31     | 35,93     |
| 14    | 36,95     | 38,05     | 40,33     | 57,00     | 37,02     | 72,16     |
| 13    | 43,91     | 34,45     | 43,28     | 8,28      | 61,74     | 41,4      |
| 12    | 27,25     | 35,28     | 41,13     | 36,31     | 27,05     | 49,31     |
| 11    | 33,94     | 69,39     | 44,88     | 60,00     | 35,64     | 29,96     |
| 10    | 25,69     | 69,72     | 27,94     | 53,99     | 31,48     | 21,48     |
| 9     | 11,47     | 44,65     | 23,16     | 72,82     | 59,61     | 1,79      |
| 8     | 31,67     | 50,88     | 23,67     | 37,09     | 39,69     | 1,76      |
| 7     | 20,49     | 40,01     | 20,27     | -31,69    | 24,55     | 26,93     |
| 6     | 34,14     | 29,49     | 55,9      | 31,20     | 24,55     | 27,16     |
| 5     | 22,03     | 31,79     | 49,44     | 3,35      | 38,04     | 42,59     |
| 4     | 37,01     | 26,55     | 32,10     | 42,90     | 38,97     | 11,54     |
| 3     | 34,33     | 3,56      | 28,88     | 32,21     | 62,91     | 44,26     |
| 2     | 31,50     | 42,66     | 20,68     | 36,21     | 34,26     | 32,82     |
| 1     | 31,23     | 34,51     | 29,32     | 29,29     | 8,51      | 40,65     |

TAB 10: Puntócha č. 3

| obvod | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| číslo | sloupek 1 | sloupek 2 | sloupek 3 | sloupek 4 | sloupek 5 | sloupek 6 |
| 22    | 19,45     | 21,45     | 20,73     | 17,24     | 1,16      | 17,46     |
| 21    | 19,24     | 11,63     | 21,39     | 30,18     | 18,69     | 17,50     |
| 20    | 17,77     | 23,77     | 21,89     | 19,16     | 14,26     | 25,15     |
| 19    | 14,87     | 15,25     | 26,97     | 19,08     | 14,24     | 0,68      |
| 18    | 16,27     | 15,41     | 18,72     | 20,96     | 23,76     | 28,35     |
| 17    | 15,08     | 21,36     | 31,11     | 30,11     | 15,01     | 0,77      |
| 16    | 19,19     | 15,29     | 26,29     | 28,98     | 22,75     | 18,05     |
| 15    | 18,3      | 21,10     | 0,00      | 34,18     | 23,99     | 27,88     |
| 14    | 0,00      | 23,92     | 26,99     | 34,46     | 73,17     | 0,00      |
| 13    | 27,31     | 21,80     | 9,14      | 33,15     | 68,16     | 26,55     |
| 12    | 27,12     | 26,07     | 8,54      | 33,36     | 48,48     | 26,24     |
| 11    | 37,02     | 34,09     | 26,21     | 31,66     | 59,14     | 26,47     |
| 10    | 24,76     | 24,15     | 23,47     | 34,50     | 63,30     | 47,50     |
| 9     | 41,18     | 19,09     | 25,14     | 28,64     | 81,58     | 2,66      |
| 8     | 34,04     | 30,24     | 30,58     | 37,12     | 76,76     | 1,80      |
| 7     | 28,3      | 33,69     | 32,76     | 37,72     | 52,10     | 35,43     |
| 6     | 22,53     | 28,88     | 34,97     | 53,29     | 52,10     | 40,88     |
| 5     | 32,95     | 24,52     | 42,98     | 38,35     | 39,58     | 37,29     |
| 4     | 37,73     | 20,97     | 82,75     | 47,58     | 61,44     | 47,82     |
| 3     | 43,12     | 23,76     | 78,49     | 20,45     | 38,05     | 45,22     |
| 2     | 33,52     | 31,62     | 46,12     | 42,31     | 0,00      | 40,79     |
| 1     | 31,74     | 28,80     | 0,00      | 38,23     | 0,00      | 85,05     |

TAB 11: Puntócha č. 4

| obvod | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| číslo | sloupek 1 | sloupek 2 | sloupek 3 | sloupek 4 | sloupek 5 | sloupek 6 |
| 22    | 12,98     | 24,51     | 13,75     | 22,00     | 1,61      | 17,46     |
| 21    | 25,42     | 17,2      | 15,96     | 22,82     | 22,42     | 17,5      |
| 20    | 17,29     | 13,79     | 10,73     | 15,09     | 12,71     | 25,15     |
| 19    | 18,2      | 15,09     | 17,27     | 17,35     | 17,05     | 0,68      |
| 18    | 19,23     | 17,96     | 19,04     | 13,70     | 21,90     | 28,35     |
| 17    | 27,76     | 30,41     | 15,57     | 26,37     | 23,24     | 0,77      |
| 16    | 18,38     | 22,06     | 22,42     | 21,62     | 21,31     | 18,05     |
| 15    | 22,26     | 21,88     | 0,00      | 30,24     | 0,00      | 27,88     |
| 14    | 0,00      | 28,61     | 0,00      | 25,27     | 0,00      | 0,00      |
| 13    | 0,00      | 39,79     | 0,00      | 39,1      | 0,00      | 26,55     |
| 12    | 22,03     | 31,69     | 0,00      | 39,16     | 0,00      | 26,24     |
| 11    | 14,81     | 24,19     | 26,21     | 28,67     | 83,64     | 26,47     |
| 10    | 28,37     | 16,03     | 23,47     | 25,78     | 69,91     | 47,5      |
| 9     | 23,94     | 20,16     | 25,14     | 28,20     | 68,19     | 2,66      |
| 8     | 20,30     | 20,52     | 30,58     | 31,51     | 75,07     | 1,80      |
| 7     | 31,87     | 30,03     | 32,76     | 38,71     | 53,02     | 35,43     |
| 6     | 25,31     | 25,20     | 34,97     | 40,79     | 53,02     | 40,88     |
| 5     | 16,96     | 28,91     | 42,98     | 34,22     | 87,89     | 37,29     |
| 4     | 19,91     | 25,60     | 30,99     | 34,29     | 60,38     | 47,82     |
| 3     | 34,03     | 23,83     | 40,58     | 25,95     | 63,92     | 45,22     |
| 2     | 21,35     | 21,06     | 61,40     | 33,96     | 0,00      | 40,79     |
| 1     | 0,00      | 33,75     | 49,24     | 32,13     | 0,00      | 85,05     |

TAB 9: Puntócha č. 2

| obvod | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| číslo | sloupek 1 | sloupek 2 | sloupek 3 | sloupek 4 | sloupek 5 | sloupek 6 |
| 22    | 19,45     | 22,19     | 20,73     | 17,24     | 1,89      | 19,88     |
| 21    | 19,24     | 21,91     | 21,39     | 30,18     | 23,12     | 24,09     |
| 20    | 17,77     | 10,73     | 21,89     | 19,16     | 22,91     | 20,90     |
| 19    | 14,87     | 20,07     | 26,97     | 19,08     | 24,43     | 1,97      |
| 18    | 16,27     | 21,66     | 18,72     | 20,96     | 23,45     | 25,60     |
| 17    | 15,08     | 20,28     | 31,11     | 30,11     | 40,53     | 0,82      |
| 16    | 19,19     | 36,41     | 26,29     | 28,98     | 30,07     | 33,69     |
| 15    | 18,30     | 48,51     | 0,00      | 34,18     | 31,31     | 20,52     |
| 14    | 0,00      | 60,39     | 26,99     | 34,46     | 37,02     | 19,95     |
| 13    | 27,31     | 15,06     | 9,14      | 33,15     | 61,74     | 26,22     |
| 12    | 27,12     | 19,62     | 8,54      | 33,36     | 27,05     | 54,62     |
| 11    | 37,02     | 33,87     | 26,21     | 31,66     | 35,64     | 37,08     |
| 10    | 24,76     | 23,70     | 23,47     | 34,5      | 31,48     | 54,32     |
| 9     | 41,18     | 26,18     | 25,14     | 28,64     | 59,61     | 3,69      |
| 8     | 34,04     | 38,50     | 30,58     | 37,12     | 39,69     | 2,92      |
| 7     | 28,30     | 29,19     | 32,76     | 37,72     | 24,55     | 37,22     |
| 6     | 22,53     | 23,99     | 34,97     | 53,29     | 24,55     | 49,25     |
| 5     | 32,95     | 42,89     | 42,98     | 38,35     | 38,04     | 63,26     |
| 4     | 37,73     | 50,55     | 82,75     | 47,58     | 38,97     | 67,66     |
| 3     | 43,12     | 45,78     | 78,49     | 20,45     | 62,91     | 41,85     |
| 2     | 33,52     | 42,15     | 46,12     | 42,31     | 34,26     | 92,92     |
| 1     | 31,74     | 35,57     | 119,39    | 38,23     | 8,51      | 85,05     |



TAB 12: Puncócha č.5

| obvod | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| číslo | sloupek 1 | sloupek 2 | sloupek 3 | sloupek 4 | sloupek 5 | sloupek 6 |
| 22    | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 21    | 15,06     | 15,06     | 15,86     | 14,23     | 15,52     | 17,45     |
| 20    | 17,41     | 17,41     | 19,79     | 15,95     | 18,46     | 17,64     |
| 19    | 11,53     | 11,53     | 13,25     | 22,92     | 13,8      | 1,83      |
| 18    | 21,56     | 21,56     | 19,86     | 17,81     | 23,54     | 34,04     |
| 17    | 9,43      | 9,43      | 7,71      | 14,00     | 21,71     | 0,50      |
| 16    | 14,30     | 14,30     | 11,78     | 29,76     | 17,59     | 28,16     |
| 15    | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 16,54     | 0,00      | 0,00      |
| 14    | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 15,17     | 32,87     | 0,00      |
| 13    | 16,19     | 16,19     | 0,00      | 13,50     | 61,24     | 25,70     |
| 12    | 15,11     | 15,11     | 0,00      | 19,44     | 62,12     | 0,00      |
| 11    | 14,80     | 14,80     | 26,21     | 25,49     | 71,06     | 21,07     |
| 10    | 17,70     | 17,70     | 23,47     | 28,49     | 49,70     | 28,86     |
| 9     | 24,79     | 24,79     | 25,14     | 21,9      | 58,09     | 1,51      |
| 8     | 21,84     | 21,84     | 30,58     | 23,05     | 61,26     | 1,17      |
| 7     | 21,03     | 21,03     | 32,76     | 15,21     | 42,36     | 10,35     |
| 6     | 23,56     | 23,56     | 34,97     | 29,85     | 42,36     | 22,52     |
| 5     | 19,57     | 19,57     | 42,98     | 17,85     | 48,51     | 49,94     |
| 4     | 20,15     | 20,15     | 30,04     | 25,41     | 62,25     | 30,96     |
| 3     | 28,37     | 28,37     | 45,62     | 35,21     | 0,00      | 21,42     |
| 2     | 29,72     | 29,72     | 35,84     | 0,00      | 0,00      | 55,19     |
| 1     | 32,82     | 32,82     | 43,9      | 33,95     | 0,00      | 46,68     |

TAB 13: Puncócha č.6

| obvod | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  | P [mmHg]  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| číslo | sloupek 1 | sloupek 2 | sloupek 3 | sloupek 4 | sloupek 5 | sloupek 6 |
| 22    | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 21    | 9,74      | 9,45      | 10,69     | 10,92     | 5,94      | 14,35     |
| 20    | 10,2      | 5,45      | 6,77      | 22,72     | 8,45      | 6,30      |
| 19    | 10,18     | 8,36      | 1,15      | 1,07      | 5,09      | 0,48      |
| 18    | 15,41     | 10,81     | 12,13     | 3,52      | 15,11     | 8,23      |
| 17    | 13,89     | 13,88     | 0,00      | 20,65     | 8,80      | 0,55      |
| 16    | 0,00      | 14,41     | 0,00      | 21,61     | 10,74     | 13,95     |
| 15    | 0,00      | 18,84     | 0,00      | 0,00      | 30,53     | 12,64     |
| 14    | 0,00      | 36,43     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 24,16     |
| 13    | 0,00      | 35,41     | 0,00      | 21,13     | 0,00      | 26,87     |
| 12    | 25,97     | 27,19     | 0,00      | 14,01     | 72,20     | 26,61     |
| 11    | 28,51     | 19,53     | 20,00     | 19,72     | 60,48     | 0,41      |
| 10    | 15,87     | 24,07     | 0,00      | 24,81     | 64,21     | 34,72     |
| 9     | 24,10     | 19,27     | 10,38     | 22,88     | 40,87     | 1,05      |
| 8     | 25,32     | 17,07     | 13,10     | 22,38     | 62,45     | 1,51      |
| 7     | 19,53     | 29,40     | 22,69     | 21,63     | 48,72     | 13,98     |
| 6     | 19,35     | 25,91     | 22,95     | 25,15     | 48,72     | 26,50     |
| 5     | 41,05     | 16,72     | 15,65     | 12,44     | 44,07     | 34,27     |
| 4     | 21,85     | 23,98     | 29,45     | 23,34     | 77,3      | 12,81     |
| 3     | 26,23     | 37,73     | 14,95     | 23,87     | 48,61     | 41,57     |
| 2     | 0,00      | 35,13     | 66,18     | 0,00      | 0,00      | 45,10     |
| 1     | 0,00      | 36,92     | 41,31     | 0,00      | 0,00      | 82,81     |

Hodnoty lokálních svěrných tlaků jsou uvedeny v milimetrech rtuťového sloupce. Toto je jednotka v lékařské praxi u KEP běžně užívaná.

5. Zhodnocení výsledků a nových poznatků

Měření u všech punčoch prokázala výskyt hodnot výrazně se lišících od požadovaného průměrného svěrného tlaku. KEP v mnoha případech buď vůbec nesvírá, nebo přímo zaškreje.

Z tabulek 8-13 je patrné, že v každé z nich se vyskytly nevyhovující hodnoty lokálních svěrných tlaků. Ať už byly rovny 0 nebo mnohonásobně převyšovaly mezní hranici 60 mmHg, hodnotu při které dochází k poškození biologických funkcí pokožky pacienta.

V tabulce 14 jsou procentuální vyjádření těchto hodnot.

TAB 14: Procentuální výskyt lokálních svěrných tlaků

|        | 0 mmHg | 0-23 mmHg | 23-32 mmHg | 32-60 mmHg | nad 60 mmHg |
|--------|--------|-----------|------------|------------|-------------|
|        | %      | %         | %          | %          | %           |
| PUN 1  | 12,7   | 48,41     | 19,05      | 15,83      | 3,97        |
| PUN 2  | 1,52   | 31,06     | 24,24      | 35,61      | 7,58        |
| PUN 3  | 4,55   | 32,58     | 27,27      | 28,79      | 6,82        |
| PUN 4  | 10,6   | 36,36     | 27,27      | 18,94      | 6,82        |
| PUN 5  | 1,52   | 18,18     | 25         | 47,73      | 7,58        |
| PUN 6  | 16,67  | 15,87     | 5,55       | 49,21      | 12,7        |
| průměr | 7,93   | 30,41     | 21,39      | 32,69      | 4,04        |

Toto jsou problémy související s rozdílným zakřivením dolní končetiny. Odborná veřejnost si je tohoto problému vědoma. Zatím tuto situaci řeší vkládáním vycpávek bez jakýchkoliv předem upřesněných rozměrových požadavků.

Důležitým poznatkem je, že tato metoda umožňuje identifikaci sporných míst kde má KEP léčebně působit na těle pacienta. Dále lze ještě zpětně dopočítat velikost a rozměr vycpávky pro potřebné zakřivení, na němž KEP dokáže již plnit svou funkci (konzultace na katedře netkaných textilií)

Tato unikátní metoda je zatím velmi pracná a časově i finančně náročná (vliv tržní ceny KEP). Protože bylo třeba vyhodnotit vše co bylo doposud naměřené, z důvodu zkrácení doby mého distančního studia, nebyly tyto hodnoty nijak statisticky zpracovány. I přesto mají pro velký význam pro odborníky zabývající se kompresní terapií.

Předpoklad výskytu problematických míst se potvrdil. Navíc tuto metodu lze použít i naopak. Pokud potřebují při známé hodnotě lokálního tlaku dopočítat potřebné zakřivení tvaru vycpávky.



## 6. Práce autora se vztahem ke studované problematice

Hlavová, M.: Influence a Form of Leg's Model on some Compressive Stockings Properties. 10. mezinárodní konference STRUTEX 2003, (str. 113-118), TU Liberec. ISBN 80-7083-769-1,

Hlavová, M.: Možnost měření kontrakce zátažné pleteniny. 9 mezinárodní konference STRUTEX 2002, (str. 113-116), TU Liberec, ISBN 80-7083-668-7,

Hlavová, M.: New Materials for Compressive Elastic Weft Knitted Fabrics. International Conference IN-tech-ed'02, Budapest/ Hungary 2002, (str. 42-46). HUISBN 963-9397-01-6,

Hlavová, M.: The Compressive Therapy which is based on a Body Temperature Co-operative Material. International Conference 2nd AUTEX – Brugge/ Belgium 2002. Poster,

Hlavová, M.: Vliv struktury elastické zátažné jedolnicí pleteniny na vybrané vlastnosti ideálního kompresního výrobku. 8. národní konference Strutex 2001, (str. 237-242), TU Liberec, ISBN 80-7083-549-4,

Hlavová, M., Kovář, R.: Properties of Elastic Weft Knitted Fabrics. 6th International Conference on Theoretical and Experimental Problems of Materials Engineering. Púchov/ Slovakia 2001. ISBN 80-968099-5-4

Hlavová, M.: Vliv rychlosti deformování elastomeru na hysterezní plochu. 7. národní konference STRUTEX 2000, (str.189-192), TU Liberec, ISBN 80-7083-442,

Hlavová, M.: Deformace elastické pleteniny. 6. národní konference STRUTEX 1999, TU Liberec, (str. 169-172), ISBN 80-7083-371-80,

Hlavová, M., Kovář, R.: Properties of Elastic Weft Knitted Fabrics. 6th International Conference 2001, Púchov, Slovakia,

## 7. Literatura -Seznam citované literatury

- [1] Hlavová, M.: Influence a Form of Leg's Model on some Compressive Stockings Properties. 10. mezinárodní konference STRUTEX 2003, (str. 113-118), TU Liberec. ISBN 80-7083-769-1,
- [2] Marušiak, J., Štrncl, J., Rambousek, Z. : Cestovní žilní trombóza. Mezinárodní konference Kompresivní terapie v praxi 2003, Rožnov p. Radhoštěm,
- [3] Oess, O.: Vlákná pro zdravotní kompresní punčochy. Mezinárodní konference Kompresivní terapie v praxi 2003, Rožnov p. Radhoštěm,
- [4] Švestková, S.: Kompresivní terapie v praxi. Mezinárodní konference Kompresivní terapie v praxi 2003, Rožnov p. Radhoštěm,

- [5] Hlavová, M.: Možnost měření kontrakce zátažné pleteniny. 9 mezinárodní konference STRUTEX 2002, (str. 113-116), TU Liberec, ISBN 80-7083-668-7,
- [6] Hlavová, M.: New Materials for Compressive Elastic Weft Knitted Fabrics. International Conference IN-tech-ed'02, Budapest/ Hungary 2002, (str. 42-46). HUISBN 963-9397-01-6,

[7] Hlavová, M.: The Compressive Therapy which is based on a Body Temperature Co-operative Material. International Conference 2nd AUTEX – Brugge/ Belgium 2002. Poster,

[8] Stríž, B.: Mechanika textilií. Základy mechaniky kontinua. Skripta, TU Liberec 2002,

[9] Hlavová, M.: Vliv struktury elastické zátažné jedolnicí pleteniny na vybrané vlastnosti ideálního kompresního výrobku. 8. národní konference Strutex 2001, (str. 237-242), TU Liberec, ISBN 80-7083-549-4,

[10] Hlavová, M., Kovář, R.: Properties of Elastic Weft Knitted Fabrics. 6th International Conference on Theoretical and Experimental Problems of Materials Engineering. Púchov/ Slovakia 2001. ISBN 80-968099-5-4,

[11] Hlavová, M.: Vliv rychlosti deformování elastomeru na hysterezní plochu. 7. národní konference STRUTEX 2000, (str.189-192), TU Liberec, ISBN 80-7083-442,

[12] Hlavová, M.: Deformace elastické pleteniny. 6. národní konference STRUTEX 1999, TU Liberec, (str. 169-172), ISBN 80-7083-371-80,

[13] Kovář, R.: Předpětí v pleteninách. STRUTEX 1999, TU Liberec, (str. 179-184), ISBN 80-7083-371-80,

[14] Stríž, B.: Svěrné účinky plošných textilií. STRUTEX 1999, TU Liberec, (str. 185-192), ISBN 80-7083-371-80,

[15] Fisher, H. - Švestková, S.: Praktické rady ke kompresivní terapii při žilních onemocněních. Lékařská příručka fy Hartmann - Rico a.s. 1998,

[16] RAL - GZ 387 : Medizinshe Kompressionsstrumpfe. Gutesicherung. 1987,

[17] Filatov, V. N.: Navrhování pružných textilních výrobků. SNTL, Praha 1984,

[18] Richterová, J.: Informační materiály k přípravku pro biaxiální zatěžování. TU Liberec,

## 8. Summary

V úvodu je stručně popsána historie používání KEP při léčbě CVI, onemocnění dolních končetin. Dále jsou uvedeny klíčové požadavky na moderní zdravotní punčochy, jež mají zajišťovat maximální terapeutický efekt. Je zde zmíněna Jakostní jistina RAL-GZ 387, kterou se evropská výroba kompresních punčoch dodnes řídí. Ze současnosti je uvedeno nové speciální vlákno LYCRA T-902 C s vylepšenými elastickými vlastnostmi.

Cílem práce bylo nalézt takové nedostatky ve funkcčnosti KEP, které je možno na akademické půdě TUL analyzovat a případně navrhnout způsob řešení, jak je odstranit.



V teoretické části jsou popsány principy kompresní terapie a její účinky na pacienta včetně indikace KEP. Je zde také poznámka o závažnosti potřeby KEP v dnešní době.

Následují odborné informace o KEP z hlediska textilně vědního. Jak se KEP obecně vyrábí a na jaký druh KEP je tato práce zaměřena. Složení a základní vlastnosti výchozí ZJ elastické pleteniny jsou doplněny vlastními publikovanými poznatky a snímky mikroskopického řezu elastomeru a struktury pleteniny. Následují další publikované informace o deformačních vlastnostech namáhané ZJ elastické pleteniny.

Následuje popis známých metod měření vlastností KEP u nás a ve světě včetně komentáře o jejich nedostatecích.

V experimentální části je citován rozbor problematiky výpočtu lokálního svěrného tlaku z hlediska mechaniky kontinua, jejímž autorem je Prof. RNDr. Bohuslav Stříž, DrSc. Jednalo se o změření lokálního svěrného tlaku na válcové ploše.

Cílem této práce bylo navázat na tuto práci a navrhnout takovou metodu měření, která umožní zaznamenat tvarovou rozmanitost dolní končetiny a zároveň konkrétní hodnoty lokálních tlaků, které vytváří KEP na končetině.

Byl zhotoven sádrový odlitek nohy. Byl použit Přípravek pro biaxiální namáhání a šablona pro snímání křivosti povrchu. Měření bylo vyhotoveno na 6 punčochách stejné velikosti (dvě měly zkrácenou délku – KEP č.5 a 6, místo 22 obvodů mohlo být změřeno pouze 21), stejné firmy MAXIS.

Velmi důležitým medicínským požadavkem na KEP je sledování předepsané hodnoty svěrného tlaku: pro KEP II KT v oblasti kotníku platí rozmezí 23-32 mmHg. Dále 60 mmHg je kritická mez, při jejímž překročení dochází k narušení biologických funkcí kůže pacienta. Tuto mez by neměla překročit žádná KEP jakékoliv komprese.

Podstatnou podmínkou správné funkčnosti KEP je, že má zajišťovat plynulý pokles svěrného tlaku od kotníku ke stehenní části 100%-70%-50%-40% . Výpočetem požadovaného svěrného tlaku na stehenní čisti dolní končetiny vyplynuly hodnoty později dosazené do grafů uvedených v Příloze I: 40% (pro 23-32 mmHg) = 9,2-12,8 mmHg. V tomto rozmezí by se měly vyskytovat navrhovanou metodou vypočtené hodnoty lokálních svěrných tlaků z tabulek 8 – 13 na obvodu 22<sub>1</sub>-22<sub>6</sub>.

Měření u všech punčoch prokázala výskyt hodnot výrazně se lišících od požadovaného průměrného svěrného tlaku. KEP v mnoha případech buď vůbec nesvítá, nebo přímo zaškrcuje.

Vydala Textilní fakulta, Technické univerzity v Liberci  
jako interní publikaci pod pořadovým číslem *257* *7/2004*  
v počtu 20 výtisků